

25080/4/06



**TUGAS AKHIR**  
**(LL 1327)**

**SIMULASI DISTRIBUSI PANAS, TEGANGAN SISA DAN  
DISTORSI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA  
PADA PENGELASAN PELAT *BUTT-JOINT***



Rske  
671.52  
Pra  
5-1  
2005

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	5-8-2005
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	223092

Disusun Oleh :

**RANDY C. PRANOTO**  
**4300.100.020**

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2005**

## LEMBAR PENGESAHAN

### SIMULASI DISTRIBUSI PANAS, TEGANGAN SISA DAN DISTORSI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA PADA PENGELASAN PELAT *BUTT-JOINT*



Nama : RANDY C. PRANOTO  
NRP : 4300.100.020

Surabaya, 1 Agustus 2005

Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Ir. Nur Syahroni, MT  
132.231.143

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Handayanu, M.Sc  
131.782.032

Ketua Jurusan Teknik Kelautan



Ir. Imam Rochani, M.Sc  
NIP. 131.417.209



## ABSTRAK

Oleh : Randy C. Pranoto

Pembimbing : Ir.Nur Syahroni,MT dan Dr.Ir.Handayanu,M.Sc

Pengelasan Butt-joint telah digunakan secara luas dalam dunia industri galangan kapal, fabrikasi bangunan lepas pantai dan industri-industri yang lain. Masalah yang sering dialami pada penyambungan dengan las adalah adanya tegangan sisa dan distorsi akibat pemanasan lokal yang menyebabkan distribusi panas yang tidak merata. Contoh kasus lapangan adalah kesulitan saat melakukan ereksi blok kapal akibat besarnya distorsi yang terjadi setelah pengelasan dilakukan. Disimulasikan proses pengelasan butt-joint dengan menggunakan *Submerged Arc Welding* (SAW) pada pelat berdimensi 500x200x20 mm dengan bantuan perangkat lunak ANSYS 6.0 berbasis metode elemen hingga. Analisis dilakukan untuk mengetahui distribusi panas pengelasan, tegangan sisa transversal - longitudinal, dan distorsi. Simulasi yang dilakukan adalah membandingkan 4 (empat) variasi urutan pengelasan dan, kemudian dari ke 4 (empat) model tersebut akan dipilih urutan pengelasan yang menghasilkan hasil optimum. Aliran panas secara konduksi dalam pengelasan ini berkisar pada rentang temperatur 299,986<sup>0</sup>K hingga 2629<sup>0</sup>K, bagian yang mengalami pengelasan mencapai temperatur tertinggi. Tegangan sisa maksimum yang terjadi adalah tegangan sisa longitudinal yaitu tegangan tarik sebesar 450 Mpa dan tegangan tekan sebesar 306 Mpa pada pengelasan variasi IV. Tegangan sisa longitudinal yang minimum sebesar 344 Mpa dan tegangan tekan sebesar 161Mpa terjadi pada pengelasan variasi III. Distorsi maksimum sebesar 0,284 mm terjadi pada pengelasan variasi IV, sedangkan distorsi minimum sebesar 0,106 mm terjadi pada pengelasan variasi II. Cara yang menghasilkan hasil pengelasan optimum adalah pengelasan 2 kali *pass* searah (pengelasan variasi II) dan menggunakan *heat input* yang berbeda untuk tiap *pass*-nya.

Kata kunci : pengelasan *butt-joint*, distribusi panas, tegangan sisa, distorsi, heat input, metode elemen hingga.

## ABSTRACT

By : Randy C. Pranoto

Under the supervision : Ir.Nur Syahroni,MT and Dr.Ir.Handayanu,M.Sc

Butt-joint welding have been used widely in ship-building industry world, offshore structure fabrication and the other industries. Many problems in welding process is the happening of residual stress and distortion caused by non-uniform heating distribution. Following the example of case in field, engineer often meet difficulties in ship block erection process caused by large distortion after welding. Had been simulated a butt-joint welding process of a thick plate with dimension 500x200x20 mm by using software ANSYS 6.0 which based on finite element method. Analysis have been conducted to knowing heat distribution in weldment, transversal-longitudinal residual stress, and distortion. Comparing to four variations of welding sequence, and then selecting which welding sequence can produce smallest residual stress and distortion. From simulations, obtained that heat distributed non uniform between 299,986K to 2629K, welded area reach its highest temperature. Residual stress maximum is compressed longitudinal stress equal to 450 Mpa and 306 Mpa for its tensile stress occur on fourth variation. Meanwhile, minimum residual stress in the form of 344 Mpa compressed stress and 161 Mpa tensile stress occur on third variation. As well as, maximum distortion equal to 0,284 mm occur on fourth variation, while minimum distortion equal to 0,106 mm occur on second variation. Second variation with unidirectional double pass and the use of different heat input for each pass can be used to reaching optimum result in butt-joint welding.

keywords : butt-joint welding, heat distribution, residual stress, distortion, heat input, finite element method.



## KATA PENGANTAR

Dengan segenap kekuatan dan keberadaannya penulis mengucapkan segala syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, sebab hanya karena kemurahan dan kehendak-Nya penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Dalam kesempatan ini pula penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Nursyahroni, MT selaku pembimbing I dalam tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Handyanu, MSc selaku pembimbing II dalam tugas akhir ini.
3. Bapak Irfan P.H, ST selaku pembimbing luar dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. 'Bang' Benny Ericsson, ST selaku pembimbing luar dalam penyelesaian pemodelan..
5. Bapak Ir. Budi Sarwoko selaku pembimbing lapangan di PT. PAL selama penulis melakukan kerja praktek yang mengilhami topik tugas akhir ini.
6. Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS dan juga sebagai dosen wali penulis.
7. Bapak Ir. Sujantoko, MT, selaku koordinator Tugas Akhir di Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS.
8. Ibunda penulis yang selalu memberikan dukungan moral dan permohonan doa kepada Tuhan yang tak pernah putus demi kelancaran pengerjaan tugas akhir ini.
9. Doretha (L'02), atas dukungan moral, pembangkit semangat, dan yang selalu setia menemani penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
10. Handi Saleho, Alif Sutolip, sebagai saudara dan rekan seperjuangan TA yang selalu mendukung penulis. Tanpa dukungan mereka, penulis tidak sanggup menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Prasidha Roro, Adek Lia, Dek Lilik, Mas Bun '98, Mas Med '98, Indahyu, Eko Monyet, Fajar Lemu, Joko Kalab, Jazmbut, Estumbut, Susey ST, dan teman-teman 2000 lainnya yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, terimakasih atas dukungan dan penghiburannya.
12. Keluarga Manyar XII/38, Neo, Carut, Lephin, deGan, Shamed, Gepeng, Gigs, yang menjadi keluarga kedua bagi penulis dan yang mendukung pengerjaan tugas akhir ini.
13. Kepada semua pihak yang telah membantu penulis, baik langsung maupun tidak langsung hingga tugas akhir ini terselesaikan.



Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu penulis mengharapkan masukan berupa saran-saran yang berguna untuk menambah kelengkapan dan kesempurnaan penelitian dimasa mendatang.

Surabaya, 27 Juli 2005

Penulis



## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Lembar Pengesahan .....	ii
Abstrak .....	iii
Kata Pengantar .....	iv
Daftar Isi .....	vi
Daftar Tabel .....	ix
Daftar Gambar .....	x
Daftar Lampiran .....	xii
<b>Bab I Pendahuluan</b>	
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat .....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>Bab II Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka .....	6
2.2 Teori Sebaran Panas .....	7
2.2.1 Bidang Distribusi Panas .....	7
2.2.2 Aliran Panas dalam Pengelasan .....	7
2.2.3 Solusi Sederhana Analisa Aliran Panas dalam Pengelasan .....	14
2.3 Tegangan sisa .....	15
2.3.1 Tegangan Sisa dalam Pengelasan.....	15
2.3.2 Terjadinya Tegangan Sisa .....	15
2.3.3 Distribusi Tegangan Sisa .....	17
2.3.4 Pengukuran Tegangan Sisa .....	17
2.3.5 Reduksi dan Pembebasan Tegangan Sisa Dalam Pengelasan .....	18
2.3.6 Tegangan Sisa Longitudinal .....	19
2.3.7 Tegangan Sisa Transversal .....	21
2.4 Distorsi Pada Struktur Las .....	23
2.4.1 Metodologi Analisa Distorsi .....	25



2.4.2 Penentuan Derajat Pengekangan .....	25
2.4.3 Formula Distorsi Watanabe-Satoh .....	26
2.4.4 Penyusutan Transversal Pengelasan Sambungan Butt-joint .....	27
2.4.5 Penyusutan Memanjang .....	28
2.4.6 Distorsi Tekukan Memanjang.....	29
2.4.6 Distorsi Berombak .....	31

### Bab III Metodologi

3.1 Umum .....	32
3.2 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	33
3.2.1 Penjelasan Bagan Alir Pengerjaan .....	34
3.3 Data Spesimen .....	34
3.3.1 Standard WPS .....	34
3.3.2 <i>Material Properties</i> .....	36
3.4 Bagan Alir Pemodelan .....	37
3.4.1 Pemodelan Distribusi Panas .....	37
3.4.2 Pemodelan Struktural.....	38
3.5 Langkah Pengerjaan Pemodelan .....	39
3.5.1 Pembuatan Model Geometri .....	39
3.5.2 Pemilihan Jenis Elemen .....	40
3.5.3 Mendefinisikan Sifat-sifat Material .....	41
3.5.4 Meshing .....	42
3.5.5 Pembebanan Thermal.....	44
3.5.6 Pemodelan Struktural.....	45

### Bab IV Analisa Hasil dan Pembahasan

4.1 Umum .....	46
4.2 Perhitungan Pembebanan.....	47
4.3 Hasil Pemodelan .....	49
4.3.1 Hasil Pemodelan Variasi I.....	49
4.3.2 Hasil Pemodelan Variasi II .....	52
4.3.3 Hasil Pemodelan Variasi III.....	56
4.3.4 Hasil Pemodelan Variasi IV.....	60
4.4 Validasi .....	64
4.4.1 Validasi elemen.....	64

4.4.2 Kontur Distribusi Panas .....	64
4.4.3 Grafik Siklus Panas .....	65
4.4.4 Grafik Distribusi Tegangan Sisa .....	66
4.4.5 Grafik Distorsi .....	68
4.5 Pembahasan .....	70
4.5.1 Distribusi Panas .....	70
4.5.2 Tegangan Sisa .....	71
4.5.3 Distorsi .....	73
Bab V Kesimpulan dan Saran	
5.1 Kesimpulan .....	75
5.2 Saran .....	75
Daftar Pustaka	
Lampiran	



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Parameter Heat Input pada variasi I.....	49
Tabel 4.2 Parameter Heat Input pada variasi II.....	52
Tabel 4.3 Parameter Heat Input pada variasi III .....	56
Tabel 4.4 Parameter Heat Input pada variasi IV .....	60
Tabel 4.5 Perbedaan nilai dalam percobaan.....	69
Tabel 4.6 Perbedaan mendasar dalam penelitian.....	70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Perbandingan terbalik antara tegangan dan distorsi .....	1
Gambar 2.1 Skema distribusi panas pada proses pengelasan ketika busur las diletakkan pada permukaan pelat .....	8
Gambar 2.2 Pembentukan tegangan sisa .....	16
Gambar 2.3 Skema distribusi tegangan sisa dalam sambungan las tumpul.....	17
Gambar 2.4 Urutan pengelasan.....	19
Gambar 2.5 Tegangan sisa pada beberapa urutan pengelasan.....	19
Gambar 2.6 Tegangan longitudinal pada pengelasan .....	20
Gambar 2.7 Distribusi tegangan longitudinal pada pengelasan.....	21
Gambar 2.8 Tegangan sisa transversal.....	22
Gambar 2.9 Distribusi tegangan sisa transversal .....	23
Gambar 2.10 Macam-macam distorsi pengelasan .....	24
Gambar 2.11 Rumusan distorsi inherent.....	26
Gambar 2.12 Definisi derajat pengeangan penyebab distorsi.....	28
Gambar 2.13 Mekanisme terjadinya penyusutan transversal.....	28
Gambar 2.14 Mekanisme penyusutan material secara memanjang .....	29
Gambar 2.15 Tekukan memanjang pada pengelasan tumpul.....	30
Gambar 2.16 Distorsi berombak .....	31
Gambar 3.1 Bagan alir pengerjaan.....	33
Gambar 3.2 Spesimen Plat.....	34
Gambar 3.3 Diagram alir pemodelan panas.....	37
Gambar 3.4 Diagram alir pemodelan struktural.....	38
Gambar 3.5 Kotak dialog <i>preference</i> pada ANSYS 6.0 .....	39
Gambar 3.6 Kotak dialog <i>library of element types</i> pada ANSYS 6.0.....	41
Gambar 3.7 Kotak dialog <i>Define Material Model Behavior</i> pada ANSYS 6.0.....	41
Gambar 3.8 Kotak dialog <i>meshtool</i> pada ANSYS 6.0.....	42
Gambar 3.9 Model plat sebelum di-mesh .....	43
Gambar 3.10 Model plat setelah di-mesh .....	44
Gambar 4.1 Finite element model.....	46
Gambar 4.2 Pola sebaran panas pada pengelasan variasi I.....	49
Gambar 4.3 Distorsi plat pada pengelasan variasi I.....	50



Gambar 4.4 Distribusi tegangan sisa transversal akibat pengelasan variasi I.....	51
Gambar 4.5 Distribusi tegangan sisa longitudinal akibat pengelasan variasi I.....	51
Gambar 4.6 Pola sebaran panas <i>pass</i> pertama pada pengelasan variasi II.....	52
Gambar 4.7 Pola sebaran panas <i>pass</i> kedua pada pengelasan variasi II.....	53
Gambar 4.8 Distorsi plat pada pengelasan variasi II.....	54
Gambar 4.9 Distribusi tegangan sisa transversal akibat pengelasan variasi II .....	55
Gambar 4.10 Distribusi tegangan sisa longitudinal akibat pengelasan variasi II .....	55
Gambar 4.11 Pola sebaran panas <i>pass</i> pertama pada pengelasan variasi III .....	56
Gambar 4.12 Pola sebaran panas <i>pass</i> kedua pada pengelasan variasi III.....	57
Gambar 4.13 Distorsi plat pada pengelasan variasi III .....	58
Gambar 4.14 Distribusi tegangan sisa transversal akibat pengelasan variasi III .....	59
Gambar 4.15 Distribusi tegangan sisa longitudinal akibat pengelasan variasi III .....	59
Gambar 4.16 Pola sebaran panas <i>pass</i> pertama pada pengelasan variasi IV .....	60
Gambar 4.17 Pola sebaran panas <i>pass</i> kedua pada pengelasan variasi IV.....	61
Gambar 4.18 Distorsi plat pada pengelasan variasi IV .....	62
Gambar 4.19 Distribusi tegangan sisa transversal akibat pengelasan variasi IV.....	63
Gambar 4.20 Distribusi tegangan sisa longitudinal akibat pengelasan variasi IV.....	63
Gambar 4.21 Pola sebaran panas pengelasan pada SAW .....	65
Gambar 4.22 Kontur distribusi temperatur penelitian Pilipenko .....	65
Gambar 4.23 Grafik validasi siklus panas fungsi waktu pada pengelasan SAW.....	66
Gambar 4.24 Grafik validasi distribusi tegangan sisa transversal .....	67
Gambar 4.25 Grafik validasi distribusi tegangan sisa longitudinal .....	67
Gambar 4.26 Grafik validasi distorsi transversal arah memanjang lasan .....	68
Gambar 4.27 Grafik validasi distorsi longitudinal arah melintang lasan.....	69
Gambar 4.28 Kontur penjalaran panas (K) pada fase pendinginan .....	71
Gambar 4.29 Distorsi bending pada pengelasan variasi I.....	73
Gambar 4.30 Longitudinal shrinkage pada pengelasan variasi II .....	74

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	FASILITAS ELEMEN
LAMPIRAN B	GRAFIK OUTPUT HASIL VARIASI PENGELASAN
LAMPIRAN C	INPUT LISTING PROGRAM DALAM PEMODELAN
LAMPIRAN D	OUTPUT PROGRAM HASIL PEMODELAN
LAMPIRAN E	LEMBAR ASISTENSI





**BAB I**  
**PENDAHULUAN**

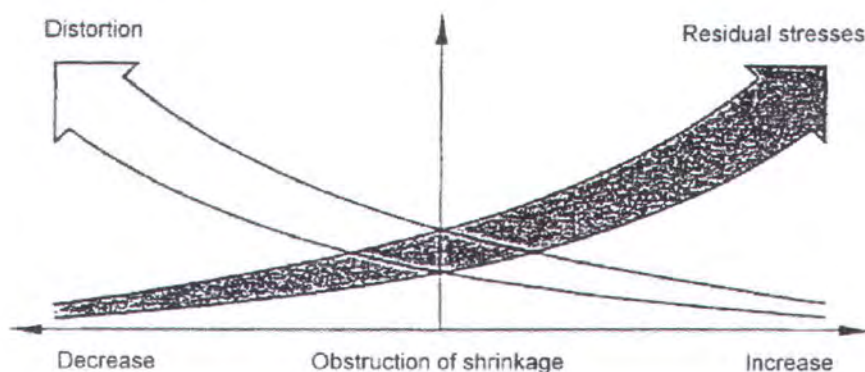


## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang Masalah

Pengelasan merupakan salah satu proses manufaktur yang memegang peranan penting dalam dunia industri. Teknik las digunakan secara luas dalam penyambungan batang-batang pada konstruksi bangunan lepas pantai, struktur laut maupun bangunan kapal. Distorsi dan timbulnya tegangan sisa dalam struktur las menjadi perhatian serius. Dengan melihat kasus yang ada di PT.PAL Indonesia (Surabaya), yaitu seringkali terjadi *missmatch* saat ereksi blok-blok kapal akibat besarnya distorsi yang terjadi pada blok yang akan di-*assembly* sehingga pihak lapangan harus membongkar lagi bagian blok tersebut dan dilakukan *refining* atau bahkan dipotong dengan *scator* agar blok kapal bisa di ereksi. Masalah lain adalah akibat penahanan material saat dilas yaitu pemberian *constraint* pada material untuk meminimalkan distorsi justru bermasalah pada terbentuknya tegangan sisa yang besar dalam material karena tegangan sisa dan distorsi merupakan dua hal yang berbanding terbalik. Hal tersebut ditunjukkan dalam grafik perbandingan antara tegangan sisa dan distorsi pada gambar 1.1. Distorsi minimum dengan konsekuensi tegangan sisa yang besar, oleh karena itu, optimasi saat pengelasan perlu dilakukan agar mendapat hasil lasan yang baik. Untuk meminimalkan hal ini, maka perlu diadakan beberapa tindakan teknis yaitu misalnya dengan cara memberikan *preheating* (pemanasan material sebelum dilas) dan *ballasting* (beban pengganjal agar material tidak terdeformasi terlalu besar).



Gambar 1.1 Perbandingan terbalik antara tegangan dan distorsi



Pengelasan dalam tiap dock/fabrikasi merupakan faktor kunci yang secara langsung terkait dengan biaya produksi dan kualitas. Pengelasan menghabiskan 20-30% waktu produksi dan sekitar 10% dari keseluruhan biaya produksi. Meskipun konsumsi elektroda seluruh dunia untuk pengelasan SAW berkurang dari 10% pada tahun 1975 hingga 7% pada awal 1996, proses ini masih tetap memainkan peran penting dalam fabrikasi kapal. Hampir semua galangan kecil maupun sedang menggunakan pengelasan konvensional yaitu SAW elektroda tunggal untuk mengelas semua flat panelnya dengan pengelasan dua sisi (*both sided welding*) sedangkan untuk galangan dan fabrikasi besar menggunakan pengelasan satu sisi saja. Pada tahun 1950-an mulai ditemukan pengelasan dengan multi elektroda sehingga tidak perlu melakukan proses pembalikan plat, hal ini menaikkan efisiensi produksi hingga 50%.

Teknologi las dikenal secara umum dan banyak digunakan karena efisiensinya yang baik. Pengelasan merupakan sarana untuk mencapai ekonomi manufaktur yang lebih baik karena disamping untuk keperluan manufaktur atau fabrikasi, teknik pengelasan juga digunakan untuk proses perawatan dan reparasi, misalnya untuk mempertebal bagian-bagian yang sudah aus dan macam-macam reparasi lainnya.

Investigasi dalam pengelasan pada proses pembangunan kapal mendapat perhatian serius, karena proses pengelasan menyebabkan pemanasan tak merata yang tinggi dari bagian-bagian yang disambung tersebut. Pemanasan lokal yang dihasilkan oleh busur las pada logam induk menghasilkan siklus pendinginan yang begitu cepat sehingga menyebabkan perubahan volumetris yang dipicu oleh adanya tegangan sementara, tegangan sisa, dan deformasi yang terjadi pada material lasan.

Tegangan dalam lasan dan deformasi adalah fenomena yang terikat erat. Selama pemanasan dan pendinginan, regangan panas muncul pada area lasan dan area yang bersebelahan dengan las-lasan. Regangan yang dihasilkan selama tahapan pemanasan dalam pengelasan selalu diikuti dengan deformasi plastis pada logam. Tegangan-tegangan yang dihasilkan dari regangan ini dikombinasikan dan bereaksi untuk menghasilkan gaya-gaya dalam sebagai penyebab utama berbagai macam distorsi pengelasan.



Deformasi sisa memperkenalkan banyak masalah dalam perakitan struktur yang dilas dan dapat mengurangi kualitas lasan. Bentuk-bentuk yang terdistorsi dan dimensi yang berubah ini merupakan pemborosan biaya dalam pembuatan struktur.

Dari seluruh faktor yang telah diterangkan diatas dapat diketahui betapa penting untuk mengetahui deformasi yang akan terjadi pada proses pengelasan melalui cara modeling dalam tahap desain, sehingga distorsi pengelasan yang terjadi dapat diminimalisasi.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam studi ini adalah :

1. Bagaimana distribusi panas yang terjadi pada pengelasan pelat *butt joint* dengan metode SAW elektroda tunggal (*single electrode sub-merged arc welding*), serta luasan HAZ yang terbentuk setelah pengelasan dilakukan.
2. Berapa besar tegangan sisa yang ada setelah material mengalami pengelasan
3. Bagaimana bentuk distorsi yang terjadi akibat pengekanan material dalam pengelasan SAW.
4. Bagaimana cara meminimalisir terjadinya tegangan sisa dan distorsi.

## 1.3 Tujuan

Studi ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui distribusi panas pada pengelasan butt joint dengan *single pass /multipass one electrode SAW*.
2. Mengetahui besarnya tegangan sisa yang ada dalam material lasan.
3. Mengetahui type dan nilai distorsi yang terjadi setelah material dilas.
4. Mengetahui cara untuk meminimalkan distorsi melalui perubahan *sequence* dan input panas.

## 1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari studi ini adalah :

1. Adanya pemahaman terhadap pengaruh panas yang ditimbulkan mengacu pada pola penjarannya akibat pembebanan panas (pengelasan) yang dilakukan
2. Mengetahui hubungan antara pemanasan material, tegangan-regangan dalam yang terjadi serta bagaimana deformasi yang terbentuk akibat reaksi-reaksi tersebut.



3. Pemahaman pemodelan komputer berbasis MEH (Metode Elemen Hingga) mengenai pengelasan serta kelakuan material sesuai sifat-sifat dasarnya terhadap beban panas.
4. Bagaimana meminimalisasi distorsi pada pengelasan SAW

### 1.5 Ruang Lingkup

Agar lebih memfokuskan analisa dan pencapaian tujuan dari studi ini, maka dalam studi ini dalam penyelesaian masalah diberikan batasan-batasan :

1. Jenis sambungan yang dibahas adalah plat datar butt joint
2. Proses pengelasan yang digunakan adalah *Submerged Arc Welding* atau las busur rendam dengan elektroda tunggal.
3. Penelitian ini hanya dilakukan melalui permodelan dengan perangkat lunak menggunakan prinsip elemen hingga.
4. Analisa yang dilakukan hanyalah distribusi temperatur, tegangan sisa transversal dan longitudinal, serta distorsi umum (*common distortion on SAW method*) saja.
5. Dalam pemodelan arah pengelasan terhadap member adalah tegak lurus terhadap sumbu plat.
6. Pemodelan yang dilakukan menggunakan elemen solid secara 3 dimensi.
7. Data masukan yang digunakan berdasarkan standar WPS di PT. PAL Indonesia.

### 1.6 Sistematika Penulisan

## BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang studi yang akan dilakukan, permasalahan yang dicermati, tujuan yang akan dicapai, manfaat yang akan diperoleh, serta batasan-batasan permasalahan dalam pekerjaan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Untuk menyelesaikan permasalahan dalam tugas akhir ini, penulis berpedoman pada beberapa penelitian yang pernah dilakukan mengenai pengelasan baik secara eksperimental maupun simulasi komputer. Selain itu juga berpedoman pada dasar-dasar teori pengelasan konvensional tentang sambungan plat *butt-joint*. Dasar teori yang digunakan antara lain ; Teori aliran panas pada material (*heat and mass transfer*), konsep tegangan sisa dalam

material akibat pengelasan (*stress and strain*), perubahan bentuk geometris (distorsi) setelah material mengalami pengelasan.

### **BAB III METODOLOGI**

Bab ini menerangkan tentang langkah simulasi (dengan perangkat lunak ANSYS 6.0) yang dilakukan mengacu pada data-data yang telah diperoleh mengikuti metodologi yang telah ditentukan. Simulasi ini diawali dengan melakukan pemodelan geometris meliputi bentuk fisik, pemilihan jenis elemen, kriteria sambungan, dan *meshing shape* yaitu membagi global struktur kedalam elemen-elemen kecil sesuai prinsip metode elemen hingga. Kemudian mensimulasikan aliran panas secara *transient* sepanjang jalur las untuk mengetahui distribusi panas yang terjadi. Setelah tahapan pembebanan selesai maka yang akan dilakukan adalah melakukan *couple-field loading* yaitu menjadikan output panas sebagai *initial loading* pada analisis struktural.

### **BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini akan membahas tentang hasil dari pemodelan yang dilakukan, yaitu bagaimana distribusi panas pada pengelasan *butt-joint* output berupa distribusi temperatur pada material, besarnya tegangan-regangan yang terjadi, kemudian mengetahui bentuk fisik distorsi yang terjadi dan melakukan validasi berdasarkan penelitian di Trondheim University oleh Artem Pilipenko pada tahun 2001.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi seluruh kesimpulan dari hasil akhir sesuai permasalahan yang ada serta menampilkan teknik untuk meminimalisasi terbentuknya distorsi dan tegangan sisa dalam pengelasan. Selain itu juga saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian berikutnya dengan tinjauan yang berbeda..





**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**  
**DAN LANDASAN TEORI**



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Panas yang bersumber dari busur las menghasilkan siklus panas yang kompleks dalam pengelasan, dan hal ini menyebabkan perubahan-perubahan mikrostruktur pada HAZ yang memicu tegangan panas sementara dan pergerakan metal yang akhirnya menghasilkan adanya tegangan sisa dan distorsi pada material.

Menurut Pilipenko (2001), dalam penelitiannya dijelaskan bahwa selama proses pengelasan berlangsung, elemen terdeformasi plastis, setelah siklus pendinginan, elemen cenderung mengalami perubahan dimensi yang jumlahnya sebanding dengan jumlah yang mengalami deformasi plastis. Sehingga semua elemen mempunyai ukuran yang berbeda dan tidak dapat dikumpulkan kembali menjadi satu dan menyebabkan terjadinya tegangan sisa serta perubahan bentuk fisis.

Dalam penelitiannya, Pilipenko (2001) telah melakukan simulasi teknik pengelasan busur rendam 2D dan 3D dengan menggunakan tiga elektrode satu kali jalan (*three-electrode one-pass welding process*) dan elektrode tunggal dengan beberapa kali pengelasan (*one-electrode multi-pass process*). Deformasi dan tegangan meningkat selama proses pengelasan yang disebabkan oleh pemanasan yang tidak merata pada bagian yang dilas. Hasil dari pengelasan tegangan sisa longitudinal lebih besar dari tegangan transversal bahkan mencapai tegangan *yield*-nya hampir disepanjang lasan. Sedangkan tegangan sisa transversal pada beberapa kasus akan mendekati tegangan *yield* di ujung lasan.

Distorsi yang terjadi disebabkan oleh beberapa faktor antara lain kedalaman penetrasi, lebar lasan, bentuk dari lasan serta sifat-sifat material logam induk (*base metal*) dan logam pengisi (*filler metal*). Pengelasan menggunakan tiga elektrode menghasilkan penyusutan melintang (*transverse shrinkage*) 70% lebih kecil daripada elektrode tunggal tiga kali jalan. Selain itu distorsi sudut yang diakibatkan juga lebih kecil sebesar 65%. Sedangkan untuk penyusutan memanjang (*longitudinal shrinkage*) yang dihasilkan 50% lebih besar daripada yang dihasilkan pengelasan dengan elektrode tunggal tiga kali *passing*.





## 2.2 Teori Sebaran Panas

### 2.2.1 Bidang Distribusi Panas

Untuk melakukan analisa sebaran panas secara konduksi, hal yang perlu diperhatikan adalah menentukan daerah temperatur media / material yang dihasilkan dari kondisi batas tertentu. Oleh karena itu, perlu diketahui distribusi temperatur yang menunjukkan bagaimana variasi temperatur sesuai fungsi posisi pada suatu medium. Konduksi *heat flux* pada titik tertentu atau permukaan suatu medium dapat ditentukan dengan menggunakan hukum Fourier, apabila distribusi temperaturnya telah diketahui. Distribusi temperatur pada benda pejal dapat digunakan untuk menganalisa besarnya *thermal stress*, ekspansi dan defleksi struktur.

Pada proses pengelasan dihasilkan siklus panas yang sangat rumit pada lasan. Siklus panas ini menyebabkan perubahan struktur mikro material pada daerah sekitar lasan (*heat-affected zone*) dan *transient thermal stresses* sehingga akhirnya tercipta tegangan sisa (*residual stress*) dan perubahan bentuk (distorsi). Sebelum menganalisa permasalahan ini, harus dilakukan analisa pada aliran panas (*heat flow*) selama proses pengelasan.

### 2.2.2 Aliran Panas dalam Pengelasan

Sumber panas yang dihasilkan selama proses pengelasan antara lain :

- (1) Panas dihasilkan oleh tenaga listrik,  $H$

$$H = VI \text{ watts (joules per second)} \quad (2.1)$$

Dimana :  $V$  = voltage, volts

$I$  = arus, amperes

- (2) Panas yang disebabkan oleh reaksi kimia pada elektrode.

- (3) Panas yang disebabkan oleh transformasi metal.

Sejauh ini, kontribusi panas terbesar untuk pengelasan dihasilkan oleh tenaga listrik, dengan intensitas *heat input* sebagai berikut :

$$h = 60 \times (VI / v), \text{ joules per inch} \quad (2.2)$$

Dimana  $v$  adalah kecepatan busur las dalam inches per minute. (Masubuchi, 1980).

Menghilangnya panas las, panas yang dihasilkan oleh busur las lenyap ke arah; bidang kerja pengelasan oleh konduksi panas, elektrode las oleh konduksi panas, dan udara sekitar oleh radiasi bidang kerja beserta busur las. Densitas sumber panas juga merupakan karakteristik yang penting dalam proses pengelasan. Akan aman apabila menganggap

bahwa semua energi listrik diubah menjadi energi panas. Tetapi energi tersebut tidak semua digunakan untuk memanaskan *electrode* dan *base metal*. Diasumsikan bahwa sebagian dari energi tersebut hilang di sekitar, waktu pemanasan gas atau fluk dan lain-lain. Sehingga energi efektif busur las dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$Q = \eta UI \quad (2.3)$$

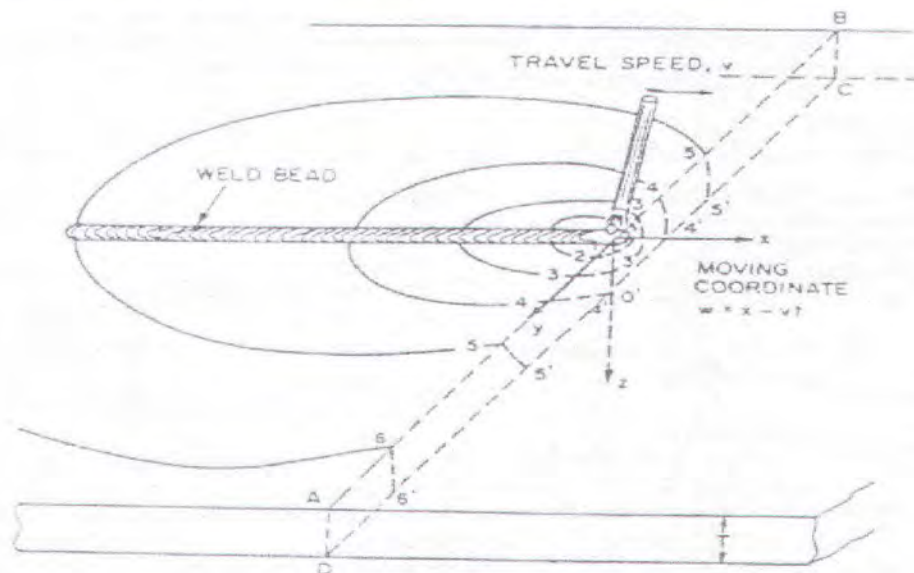
Dimana :  $Q$  = Net Heat Input/effective thermal power (W)

$\eta$  = Koefisien Efisiensi busur

$U$  = Daya busur (V)

$I$  = Arus busur (A)

Harga koefisien efisiensi,  $\eta$  untuk pengelasan baja dengan cara *submerged arc welding* adalah antara 0,91 sampai dengan 0,99 (Pilipenko, 2001)..



Gambar 2.1. Skema distribusi panas pada proses pengelasan ketika busur las diletakkan pada permukaan pelat (Masubuchi, 1980).

Pada gambar 2.1 ditampilkan skema distribusi temperatur pada saat busur las diletakkan pada pelat dengan kecepatan  $v$ . Kurva 1 sampai 6 menunjukkan kurva *isothermal* pada permukaan, sedangkan kurva titik-titik mewakili kurva *isothermal* pada bagian transversal,  $ABCD$ .  $O$ - $xyz$  adalah koordinat sumbu; masing-masing :  $O$ , pada permukaan di bawah *weld bead*,  $x$ -axis searah dengan arah pengelasan, dan  $z$ -axis mengarah ke bawah/arah kedalaman (Masubuchi, 1980).



Persamaan dasar konduksi panas pada benda pejal :

$$\rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} = \dot{Q}_G + \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (2.4)$$

dimana :  $\rho$  = massa jenis (g/cm<sup>3</sup>)  
 $c$  = spesifik panas (cal/g)  
 $\lambda$  = konduktivitas thermal (cal/cm sec °C)  
 $\dot{Q}_G$  = tingkat perubahan temperatur (°C/sec cal cm<sup>3</sup>)

(Masubuchi, 1980).

Persamaan 2.4 tersebut sesuai dengan yang terdapat dalam Ansys Theory Reference [ANSYS 6.0 Documentation],

$$\rho c \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \{v\}^T \{L\} T \right) + \{L\}^T \{q\} = \ddot{q} \quad (2.5)$$

dimana :  $\rho$  = Density  
 $c$  = Specific heat  
 $T$  = Temperatur  
 $t$  = Waktu

$$\{L\} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} \end{Bmatrix} = \text{vector operator}$$

$$\{v\} = \begin{Bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \text{velocity vector for mass transport of heat} \\ \text{(input as VX, VY, VZ on R command,} \\ \text{PLANE55 and SOLID70 only).} \end{Bmatrix}$$

$\{q\}$  = Vektor heat flux

$\ddot{q}$  = panas yang dihasilkan per satuan volume

Bentuk  $\{L\} T$  dan  $\{L\}^T \{q\}$  dapat masing-masing diinterpretasikan sebagai  $\nabla T$  dan  $\nabla \cdot \{q\}$ , dimana  $\nabla$  menunjukkan grad operator dan  $\nabla \cdot$  menunjukkan divergen operator. Selanjutnya hukum Fourier digunakan untuk menghubungkan vector heat flux dengan thermal gradient :

$$\{q\} = - [D] \{L\} T \quad (2.6)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} K_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & K_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & K_{zz} \end{bmatrix} = \text{conductivity matrix}$$

dimana :

$K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$  = Konduktivitas arah  $x, y$  dan  $z$

Mengkombinasikan persamaan 2.5 dan 2.6 :

$$\rho c \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \{v\}^T \{L\} T \right) = \{L\}^T ([D] \{L\} T) + \bar{q} \quad (2.7)$$

Persamaan 2.7 dapat ditunjukkan ke dalam bentuk yang lebih dikenal :

$$\rho c \left( \frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \bar{q} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (2.8)$$

Ini akan diasumsikan bahwa semua pengaruh bekerja dalam system global Cartesian.

Diperlukan suatu pendekatan terhadap persamaan panas untuk menyelesaikan permasalahan distribusi temperatur. Maka dari itu setiap penyelesaian bergantung pada kondisi fisik dan batasan-batasan yang terdapat pada medium tersebut. Apabila bergantung terhadap waktu, maka kondisi medium tersebut memiliki waktu awal (*initial time*).

Sehubungan dengan kondisi batas, ada tiga jenis kondisi batas yang digunakan sebagai pertimbangan pada proses perpindahan panas dan diasumsikan untuk semua elemen.

- a. Temperatur pada permukaan konstan,  $S_1$

Kondisi pertama berhubungan dengan kondisi permukaan yang dikenai temperatur tertentu.

$$T = T^* \quad (2.9)$$

- b. Aliran panas pada permukaan konstan,  $S_2$

Kondisi kedua berhubungan dengan aliran panas konstan yang berada di permukaan. Aliran panas ini dihubungkan dengan gradien temperatur pada permukaan.

$$\{q\}^T \{\eta\} = -q^* \quad (2.10)$$



c. Konveksi pada permukaan konstan,  $S_3$  (hukum pendinginan Newton)

Kondisi ketiga berhubungan dengan konveksi pemanasan atau pendinginan di permukaan dan didapatkan dari keseimbangan energi permukaan.

$$\{q\}^T \{\eta\} = h_f (T_s - T_B) \quad (2.11)$$

dimana :  $h_f = \text{Film coefficient}$

$T_s = \text{Bulk temperature}$  yang berdekatan dengan fluida

$T_B = \text{Temperatur pada permukaan model}$

Dengan menghubungkan persamaan 2.6 , 2.10 , dan 2.11

$$\{\eta\}^T [D] \{L\} T = q^* \quad (2.12)$$

$$\{\eta\}^T [D] \{L\} T = h_f (T_B - T) \quad (2.13)$$

dengan melakukan operasi perkalian pada persamaan tersebut dengan peubah semu pada temperature, integrasi terhadap volume elemen dan penggabungan persamaan 2.12 dan 2.13 serta beberapa modifikasi, maka didapat:

$$\int_{vol} \left( \rho c \delta T \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \{v\}^T \{L\} T \right) + \{L\}^T (\delta T) ([D] \{L\} T) \right) d(vol) = \int_{S_2} \delta T q^* d(S_2) + \int_{S_3} \delta T h_f (T_B - T) d(S_3) + \int_{vol} \delta T \ddot{q} d(vol) \quad (2.14)$$

dimana :  $vol = \text{Volume elemen}$

$\delta T = \text{Temperatur semu yang diijinkan } (= \delta T_{(x,y,z,t)})$

Variabel  $T$  diijinkan untuk berubah dalam ruang dan waktu. Kebebasan ini dipisahkan sebagai :

$$T = \{N\}^T \{T_e\} \quad (2.15)$$

dimana :  $T(x,y,z,t) = \text{Temperatur}$

$\{N\} = \{N(x,y,z)\} = \text{Shape function elemen}$

$\{T_e\} = \{T_e(t)\} = \text{Vektor temperatur nodal elemen}$

Persamaan 2.15 dapat ditulis sebagai berikut :

$$\dot{T} = \frac{\partial T}{\partial t} = \{N\}^T \{\dot{T}_e\} \quad (2.16)$$

$\delta T$  mempunyai bentuk yang sama dengan  $T$  :

$$\delta T = \{\delta T_e\}^T \{N\} \quad (2.17)$$

sehingga apabila dikombinasikan dengan  $\{L\}$  :

$$\{L\} T = [B] \{T_e\} \quad (2.18)$$

dimana :  $[B] = \{L\} \{N\}^T$

sekarang persamaan 2.14 dapat dikombinasikan dengan persamaan 2.15 sampai dengan 2.18 :

$$\begin{aligned} & \int_{vol} \rho c \{\delta T_e\}^T \{N\} \{N\}^T \{T_e\} d(vol) + \int_{vol} \rho c \{\delta T_e\}^T \{N\} \{v\}^T [B] \{T_e\} d(vol) \\ & + \int_{vol} \{\delta T_e\}^T [B]^T [D] [B] \{T_e\} d(vol) = \int_{S_2} \{\delta T_e\}^T \{N\} q^* d(S_2) \\ & + \int_{S_3} \{\delta T_e\}^T \{N\} h_f (T_B - \{N\}^T \{T_e\}) d(S_3) + \int_{vol} \{\delta T_e\}^T \{N\} \dot{q} d(vol) \end{aligned} \quad (2.19)$$

$\rho$  diasumsikan konstan pada volume elemen dengan catatan  $c$  dan  $q$  boleh berubah. Akhirnya,  $\{T_e\}$ ,  $\{\dot{T}\}$  dan  $\{\delta T_e\}$  jumlah nodal dan tidak berubah, jadi itu dapat dihilangkan dari integral. Sekarang semua jumlah yang ada dikalikan dengan vector *arbitrary*  $\{\delta T_e\}$  sehingga persamaan 2.19 dapat disederhanakan menjadi :

$$\begin{aligned} & \rho \int_{vol} c \{N\} \{N\}^T d(vol) \{T_e\} + \rho \int_{vol} c \{N\} \{v\}^T [B] d(vol) \{T_e\} \\ & + \rho \int_{vol} [B]^T [D] [B] d(vol) \{T_e\} = \int_{S_2} \{N\} q^* d(S_2) + \\ & \int_{S_3} T_B h_f \{N\} d(S_3) - \int_{S_3} h_f \{N\} \{N\}^T \{T_e\} d(S_3) + \int_{vol} q \{N\} d(vol) \end{aligned} \quad (2.20)$$

persamaan 2.20 dapat dituliskan sebagai berikut :

$$[C_e^t] \{\dot{T}_e\} + ([K_e^{tm}] + [K_e^{tb}] + [K_e^{tc}]) \{T_e\} = \{Q_e\} + \{Q_e^c\} + \{Q_e^g\} \quad (2.21)$$

dimana :  $[C_e^t] = \rho \int_{vol} c \{N\} \{N\}^T d(vol)$

= matrik *specific heat* elemen (*thermal damping*)

$$[K_e^{tm}] = \rho \int_{vol} c \{N\} \{v\}^T [B] d(vol)$$

= matrik konduktivitas *mass transport* elemen

$$[K_e^{tb}] = \int_{vol} [B]^T [D] [B] d(vol) = \text{matrik konduktivitas difusi elemen}$$

$$[K_e^{tc}] = \int_{S_3} h_f \{N\} \{N\}^T d(S_3) = \text{element convection surface conductivity matrix}$$



$$\{Q_e^f\} = \int_{S_2} \{N\} q^* d\{S_2\} = \text{element mass flux vector}$$

$$\{Q_e^c\} = \int_{S_3} T_B h_f \{N\} d\{S_3\} = \text{element convection surface heat flow vector}$$

$$\{Q_e^g\} = \int_{vol} \ddot{q} \{N\} d(vol) = \text{element heat generation load}$$

Thermal gradient elemen pada suatu titik integrasi :

$$\{a\} = \{L\} T = \left[ \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial z} \right]^T \quad (2.22)$$

dimana :  $\{a\}$  = vector thermal gradient

$\{L\}$  = vector operator

T = Temperatur

Dengan menggunakan shape function, persamaan 2.19 dapat ditulis sebagai :

$$\{a\} = [B] \{T_e\} \quad (2.23)$$

dimana :  $[B]$  = Shape function asal mula matrik yang dievaluasi pada titik integrasi

$\{T_e\}$  = vektor temperatur nodal elemen

kemudian vektor *heat flux* pada titik integrasi dapat dihitung dengan thermal gradient :

$$\{q\} = -[D] \{a\} = -[D][B] \{T_e\} \quad (2.24)$$

dimana :  $\{q\}$  = vektor *heat flux*

$[D]$  = matrik konduktivitas

sedangkan output konveksi pada permukaan :

$$q^c = h_f (T_s - T_B) \quad (2.25)$$

dimana :  $q^c$  = Aliran panas per satuan luas selama konveksi

$h_f$  = Film coefficient

$T_s$  = Temperatur permukaan model

$T_B$  = Bulk temperature yang berdekatan dengan fluida

Hampir semua analisa dalam aliran panas selama pengelasan mengasumsikan bahwa properti panas tidak berubah bersesuaian dengan perubahan temperatur. Karakteristik aliran panas selama pengelasan busur logam dipengaruhi oleh hal-hal berikut :

1. pergerakan sumber panas, biasanya pada kecepatan konstan pada permukaan bidang kerja.
2. ukuran sumber panas (busur las) adalah kecil dibandingkan bidang kerja.

Kondisi statis-semu (*quasi-stationary state*) dan non-statis (*non-stationary*). Aliran panas dalam las busur meliputi 3 tahapan ;

Tahap 1 : proses penjenuhan panas disekitar sumber panas saat pemanasan mulai timbul

Tahap 2 : kondisi statis semu pada keadaan distribusi panas statis dalam sistem koordinat yang bergerak bersamaan dengan sumber panas.

Tahap 3 : tahap ini adalah tahapan penurunan saat panas mulai hilang setelah busur las dipadamkan.

Dalam kondisi statis semu, analisa matematis cukup sederhana, karena permasalahan koordinat gerak dapat diasumsikan sebagai aliran *steady state*. Pada areal sekitar jalur las, aliran panas adalah dalam kondisi non-statis (tahap 1 dan tahap 3) dengan catatan bahwa jalur las cukup panjang, tetapi dalam pengelasan pendek, kondisi statis semu tidak pernah dapat tercapai. Analisa matematis dalam kondisi ini cukup rumit dan kompleks, karena solusi dan pendekatan matematis dalam penyelesaian masalah aliran panas menggunakan asumsi statis semu.

### 2.2.3 Solusi Sederhana Aliran Panas dalam Pengelasan

Analisa matematis aliran panas dalam pengelasan dalam kondisi statis semu dibuat oleh Boulton dan Lance Martin, Rosenthal dan Schmerbes, Rykalin dan banyak lagi peneliti (Masubuchi, 1980). Dengan menggunakan koordinat ( $w, y, z$ ), yang bergerak bersamaan dengan kecepatan gerak busur las sebagaimana ditunjukkan dalam figur (gambar 2.1) diatas.

$$w = x - vt \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} = 1, \quad \frac{\partial w}{\partial t} = -v, \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\partial \theta}{\partial w} \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial \theta}{\partial w}, \quad \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial w^2} \quad (2.28)$$



Solusi kasus diferensial untuk plat semi-infinite tiga dimensi dipakai ketika sebuah *bead* tunggal diletakkan diatas permukaan plat tebal yang cukup besar. Persamaan yang dipakai :

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial w^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = -\frac{v}{k} \left( \frac{\partial \theta}{\partial w} \right) \quad (2.29)$$

## 2.3 Tegangan Sisa

### 2.3.1 Tegangan Sisa Dalam Pengelasan

Tegangan sisa adalah komponen-komponen tegangan yang tetap berada dalam material sekalipun seluruh beban luar dalam material telah dihilangkan. Macam-macam kondisi yang mengacu pada adanya tegangan sisa ;

- *internal stresses* (tegangan dalam)
- *initial stresses* (tegangan awal)
- *inherent stresses* (tegangan karakteristik)
- *reaction stresses* (tegangan reaksi)
- *locked-in stresses* (tegangan terjebak)

Tegangan sisa selalu muncul apabila sebuah material dikenai perubahan temperatur *non-uniform*, tegangan-tegangan ini disebut tegangan panas.

Untuk pembahasan masalah pengelasan, tegangan sisa yang akan ditinjau adalah tegangan sisa yang ditimbulkan dari distribusi regangan non-elastik yang tidak merata pada material.

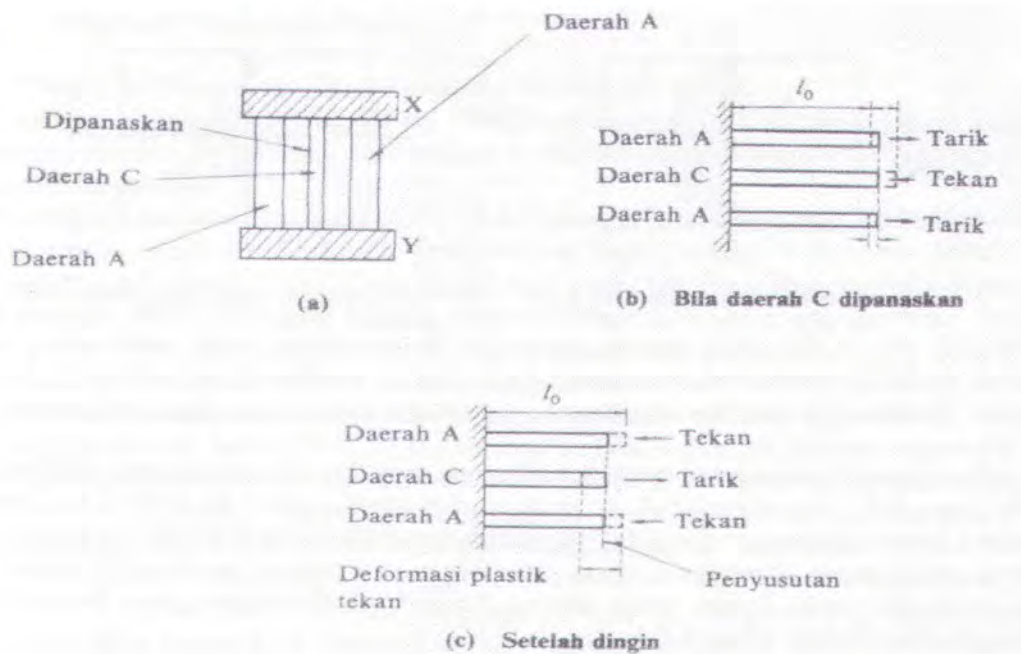
### 2.3.2 Terjadinya tegangan sisa

Tegangan sisa pada logam dapat terjadi karena banyak hal selama proses produksi, antara lain :

- Material yang termasuk bentuk pelat dan batangan dikenai proses *roll*, *casting*, *forging*.
- Selama pembentukan bagian-bagian metal oleh proses-proses seperti *bending*, *grinding*, *shearing* dan *machining*.
- Selama proses fabrikasi, seperti pengelasan (Masubuchi, 1980).

Terjadinya tegangan sisa dekspresikan pada gambar 2.2 dibawah ini, dimana daerah C mengembang pada waktu pengelasan. Pengembangan pada daerah C ditahan oleh daerah

A, sehingga pada daerah C terjadi tegangan tekan dan pada daerah A terjadi tegangan tarik. Tetapi bila luas daerah A jauh lebih besar dari daerah C, maka pada daerah C akan terjadi perubahan bentuk tetap (distorsi), sedangkan pada daerah A terjadi perubahan bentuk elastis. Ketika proses pengelasan selesai, terjadi proses pendinginan dimana daerah C menyusut cukup besar karena disamping pendinginan juga karena tegangan tekan. Penyusutan ini ditahan oleh daerah A, oleh sebab itu daerah C akan terjadi tegangan tarik yang diimbangi oleh tegangan tekan pada daerah A.



Gambar 2.2. Pembentukan tegangan sisa (Wiryosumarto, 1981)

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan tegangan sisa adalah batas transformasi dan batas luluh bahan, temperatur pemanasan tertinggi, kecepatan pendinginan, tahanan luar dan pemanasan awal. Ketika material dipanasi secara merata, maka panas akan disebarkan secara merata pula dan tidak ada tegangan yang dihasilkan. Tetapi ketika material dipanasi secara tidak merata, akan terjadi tegangan. Tegangan sisa juga akan terjadi ketika regangan yang didistribusikan tidak merata seperti regangan plastis. Tegangan sisa terjadi apabila nilai/harga ketidakcocokan tidak sama dengan 0 (Masubuchi, 1980) ditentukan sebagai berikut;

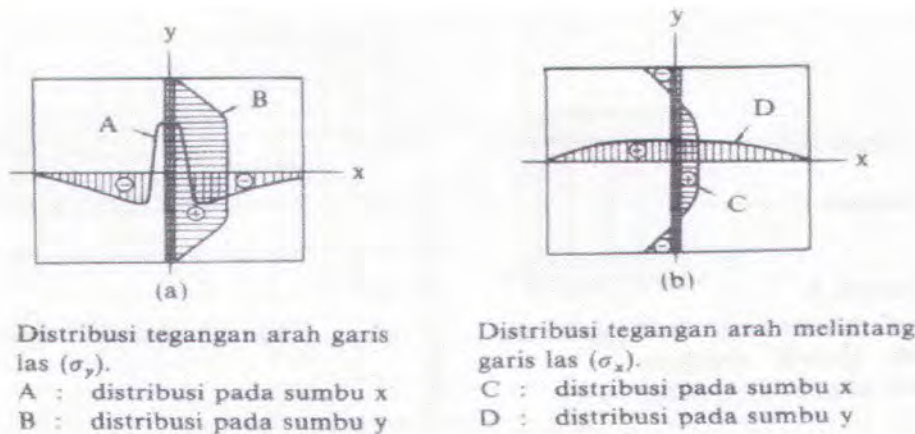
$$R = - \left( \frac{\partial^2 \varepsilon_x''}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y''}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{xy}''}{\partial x \partial y} \right) \quad (2.30)$$



dimana :  $R$  = Penyebab tegangan sisa (*incompatibility*)  
 $\epsilon_x'', \epsilon_y'', \gamma_{xy}''$  = komponen regangan non-elastis.

### 2.3.3 Distribusi tegangan sisa

Distribusi tegangan sisa dipengaruhi oleh jenis dan bentuk konfigurasi lasan. Pada las tumpul (*butt weld*), garis lasan arah memanjang akan mencapai batas kekuatan luluh pada garis las dan kemudian menurun dan mencapai nol pada ujung pelat. Sedangkan pada arah melintang garis las, terjadi keseimbangan antara tegangan tarik dan tekan seperti pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Skema distribusi tegangan sisa dalam sambungan las tumpul (Wirjosumarto, 1981)

### 2.3.4 Pengukuran Tegangan Sisa

Besarnya tegangan sisa dapat diketahui dengan menghitung besarnya regangan sisa yang terjadi dalam material dengan menggunakan hukum Hooke. Sedangkan besar regangan dapat diukur dari perubahan ukuran antara batang sebelum dipotong dan setelah dipotong, yaitu ukuran yang digambarkan pada bagian yang akan ditentukan tegangan sisanya dan ukuran sebenarnya yang didapat setelah bagian yang akan diuji dipotong. Dari hukum Hooke jelas bahwa perubahan ukuran ini disebabkan oleh adanya tegangan, karena itu besarnya tegangan dapat dihitung. Besar tegangan satu arah dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l} \quad (2.31)$$

dimana :  $\sigma$  = tegangan sisa yang terjadi

$E$  = modulus elastic

$l$  = panjang sebelum dipotong

$\Delta l$  = perubahan panjang sebelum dan sesudah dipotong

Sedangkan untuk tegangan sisa dalam dua dimensi dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan :

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_x + \nu \epsilon_y) \quad (2.32)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_y + \nu \epsilon_x) \quad (2.33)$$

dimana :  $\sigma_x$  = tegangan tegak lurus garis las

$\sigma_y$  = tegangan searah garis las

$\epsilon_x$  = regangan tegak lurus garis las

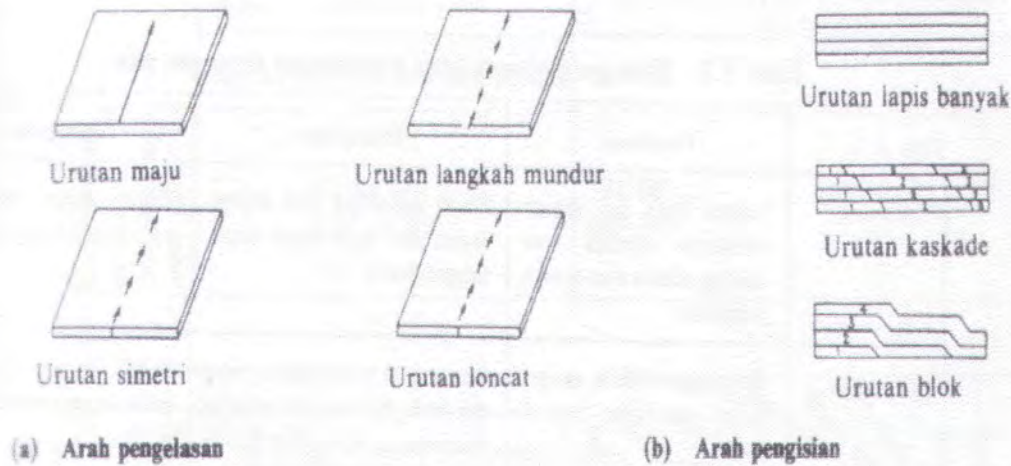
$\epsilon_y$  = regangan searah garis las

$\nu$  = angka perbandingan Poisson

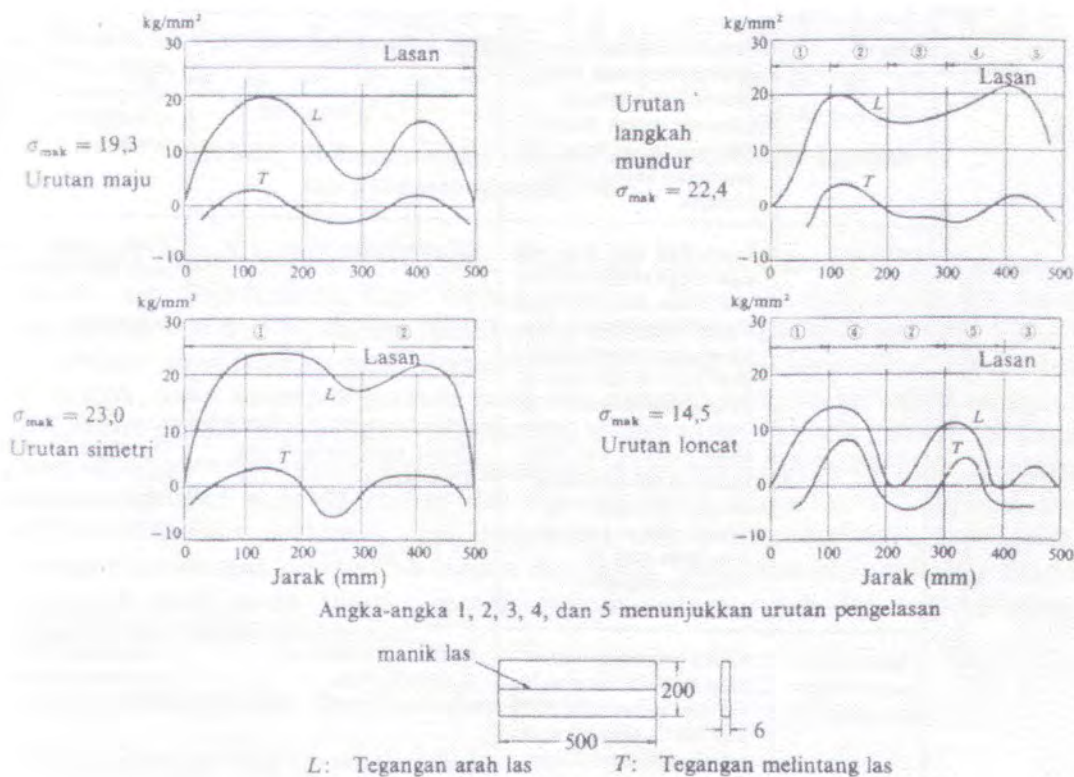
### 2.3.5 Reduksi dan Pembebasan Tegangan Sisa Dalam Pengelasan

Pada kasus pengelasan, tegangan sisa terjadi karena adanya penyusutan material pada waktu siklus pendinginan setelah pengelasan selesai. Besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat diminimalisir dengan cara mengurangi *heat input* dan banyaknya deposisi logam lasan dengan cara memperkecil bevel / kampuh las dan memperkecil *root space* pada alas tumpul. Untuk las sudut, dapat dilakukan dengan memperkecil panjang kaki las dan penguat. Urutan pengelasan yang baik juga digunakan untuk mengurangi tegangan sisa yang disebabkan oleh *external constraint* (gambar 2.4 dan 2.5).





Gambar 2.4. Urutan pengelasan (Wiryosumarto, 1981)

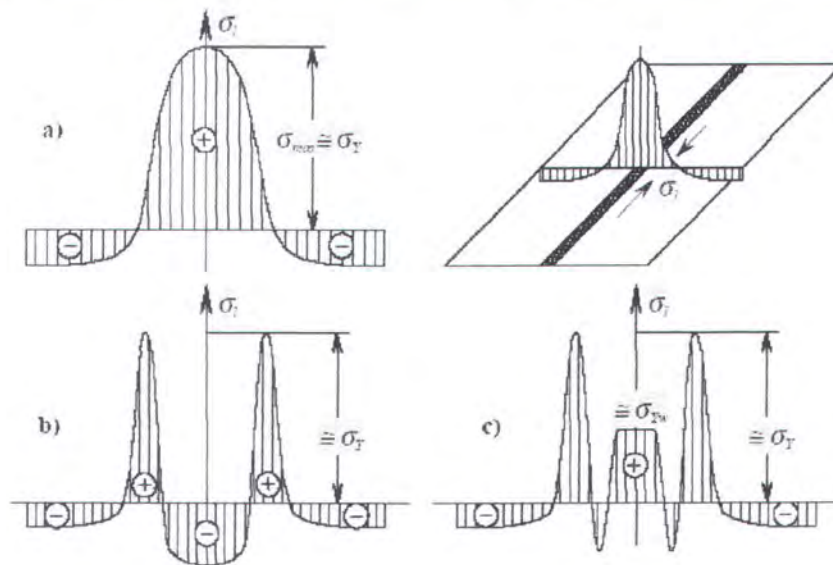


Gambar 2.5. Tegangan sisa pada beberapa urutan pengelasan (Wiryosumarto, 1981)

### 2.3.6 Tegangan Sisa Longitudinal

Tegangan sisa longitudinal maksimum,  $\sigma_x$  pada pengelasan biasanya mendekati *yield limit*,  $\sigma_y$ . Menurun secara bertahap dari sumbu pengelasan dalam zona deformasi plastis, tegangan tarik longitudinal kemudian menurun berubah menjadi tekanan pada daerah yang berdekatan. Distribusi tegangan sisa pada pengelasan dapat dibedakan seperti pada

gambar 2.6. Bergantung pada tingkat campuran dari *weld metal* dan *base metal*, pada gambar terlihat perubahan yang signifikan. Waktu pendinginan selama proses pengelasan dan keadaan awal baja banyak berpengaruh terhadap distribusi tegangan sisa.



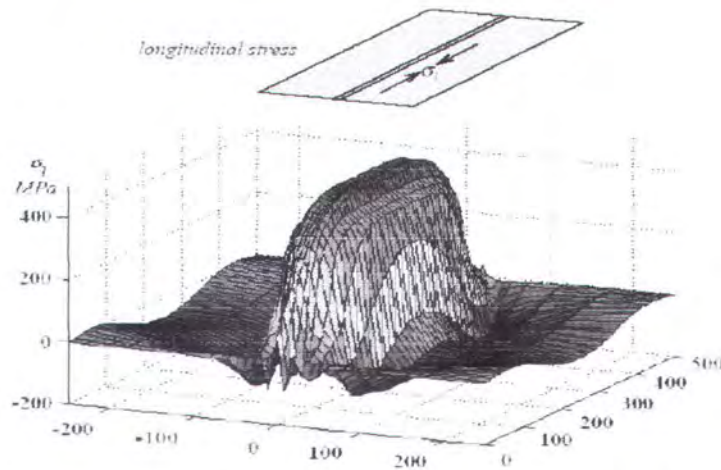
Gambar 2.6. Tegangan longitudinal pada pengelasan (a) mild steel, (b) high-alloy steel dengan martensitic filler metal, (c) high-alloy steel dengan austenitic filler metal (Pilipenko,2001).

Perubahan susunan mikrostruktural material selama pengelasan bisa mengubah distribusi tegangan sisa. Jika perubahan struktur terjadi pada waktu pendinginan/temperatur rendah kemudian secara bertahap kontraksi berubah menjadi perpanjangan. Selanjutnya tegangan tarik yang terbentuk diturunkan dan berubah menjadi tekanan. Urutan pendinginan selanjutnya adalah perpanjangan material mendekati lapisan las dan mungkin bisa memberikan tegangan tarik. Distribusi tegangan sisa bergantung pada transformasi regangan  $\epsilon_{tr}$  dan transformasi temperatur yang lebih rendah  $T_{tr}$ . Jika kecepatan pendinginan yang dihasilkan cukup tinggi dalam formasi *martensite* maka daerah yang dekat dengan lasan ditekan (gambar 2.6b).

Lebar zona deformasi plastis bergantung pada parameter pengelasan, material property dan kekakuan struktur. Parameter yang paling penting untuk material property adalah : *yield stress*  $\sigma_Y$ , modulus elastis  $E$ , dan koefisien *thermal expansion*  $\alpha$ . Harga *yield stress*,  $\sigma_Y$  yang tinggi zona deformasi plastis akan lebih sempit. Sedangkan jika harga  $E$  dan  $\alpha$  lebih tinggi, maka zona deformasi plastis menjadi lebih lebar.



Parameter pengelasan utama adalah *heat input* per satuan panjang  $q_w$  dan kecepatan pengelasan  $v$ . Jika dalam pengelasan pelat yang lebar harga  $q_w$  besar, maka zona deformasi plastis lebih lebar. Penambahan kecepatan pengelasan dengan konstanta  $q_w$  akan menurun lebar zona deformasi plastis.



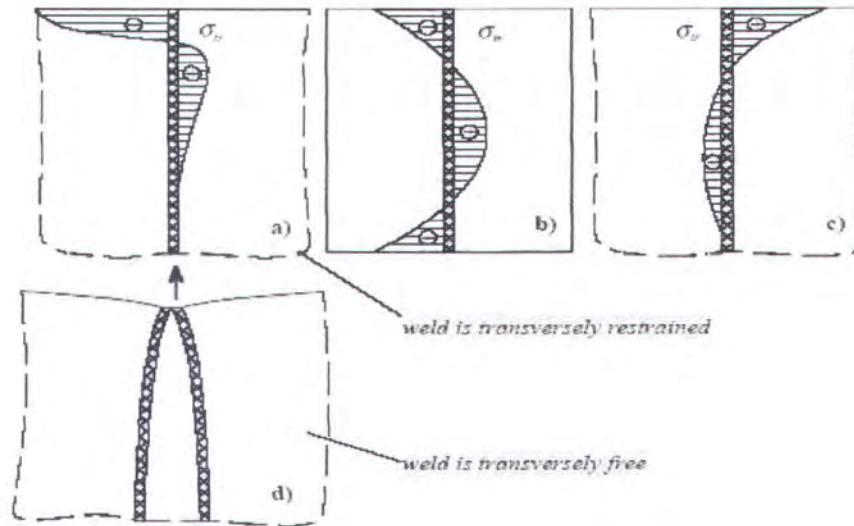
Gambar 2.7. Distribusi tegangan longitudinal pada pengelasan (Pilipenko,2001).

Contoh distribusi tegangan longitudinal dapat dilihat pada gambar 2.7. Ini dapat memperkuat dugaan tentang kompleksnya persamaan tegangan yang disebabkan oleh pengelasan. Distribusi ini terjadi pada kasus ketika material tidak mengalami transformasi pada temperature rendah.

### 2.3.7 Tegangan Sisa Transversal

Setelah pelat yang dilas mengalami pendinginan, material mengerut ke arah longitudinal dan transversal, tegangan sisa transversal muncul pada struktur. Jika pelat yang dilas pada kondisi bebas (tanpa *tack weld* dan tambahan penahan), maka tegangan transversal tidak terlalu besar. Harga tertinggi dicapai pada saat mendekati akhir lasan. Tegangan-tegangan dapat berupa tekan dan tarik.





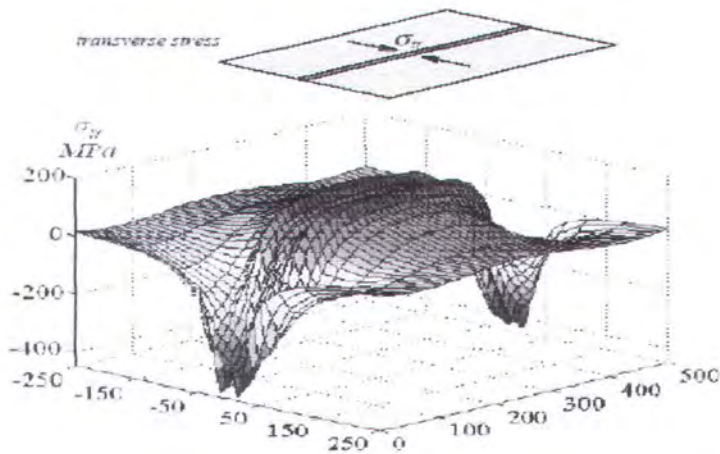
Gambar 2.8. Tegangan sisa transversal (a) dilapisi dengan cepat pada pelat panjang (b) dilapisi dengan cepat pada pelat pendek (c) dilapisi dengan lambat pada pelat panjang. (Pilipenko,2001).

Pengelasan kecepatan tinggi diantara dua pelat akan mempunyai celah di bagian tengah dari panjang las jika pendinginan pengelasan tanpa *restraint* transversal. Tegangan tekan diawali dengan pemendekan longitudinal zona deformasi plastis, dan ujung pelat cenderung akan menekuk kearah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8d. Tegangan tekan transversal muncul pada akhir pengelasan dan berubah menjadi tegangan tarik transversal ketika mendekati bagian daerah tengah dari panjang lasan.

Selama pemendekan dan penyempitan pelat pada pengelasan dengan kecepatan tinggi, ujung pelat berpindah ke arah masing-masing selama pendinginan. Pemendekan longitudinal mencoba untuk menekuk pelat ke dalam bidang. Hasilnya, tegangan sisa (gambar 2.8b) terbentuk sepanjang garis tengah pengelasan.

Jika kecepatan pengelasan cukup lambat bagi *weld metal* untuk menurunkan temperatur ketika material dimungkinkan menahan beban (temperature pelunakan untuk *mild steel*  $T^* \approx 600^\circ\text{C}$ ), dan ini terjadi tidak terlalu jauh dibelakang busur lasan maka pada akhir lapisan lasan terjadi tegangan tarik seperti pada gambar 2.8c. Penahan tambahan mempunyai pengaruh yang pada distribusi tegangan sisa transversal pengelasan. Contoh distribusi tegangan sisa transversal ditunjukkan pada gambar 2.9.





Gambar 2.9. Distribusi tegangan sisa transversal (Pilipenko,2001).

## 2.4 Distorsi Pada Struktur Las

Tegangan sisa dan distorsi dalam pengelasan merupakan fenomena yang berakaitan erat. Selama siklus pemanasan dan pendinginan yang terjadi dalam pengelasan, selama itulah regangan panas muncul diantara logam las dan logam induk pada zona dekat jalur las. Peregangan material ini juga menimbulkan tegangan-tegangan dalam yang ada didalam material yang dapat menimbulkan terjadinya *bending*, *buckling*, dan rotasi. Perubahan-perubahan inilah yang disebut distorsi.

Bagian ini akan menjelaskan dasar pokok bagaimana terjadinya mekanisme berbagai macam distorsi, faktor apa saja yang berperan, bagaimana menganalisa efek-efek yang terjadi.

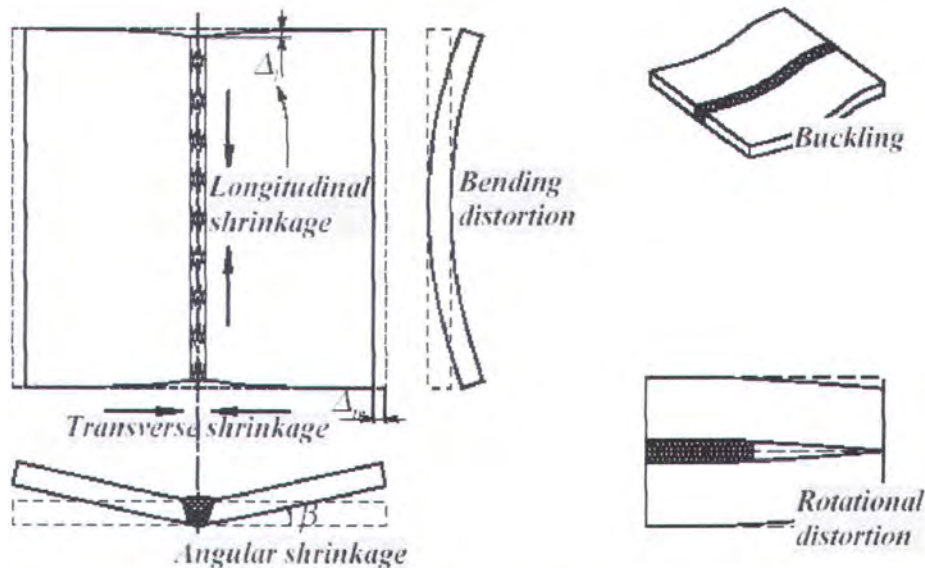
Berikut terdapat 3 perubahan bentuk dasar terjadinya distorsi dalam fabrikasi struktur :

- Penyusutan melintang tegak lurus terhadap arah pengelasan
- Penyusutan memanjang sejajar arah pengelasan
- Distorsi angular (rotasional terhadap jalur las)

Macam-macam distorsi yang terjadi pada pengelasan :

- (a) *Transverse shrinkage*. Penyusutan tegak lurus terhadap garis las.
- (b) *Angular change*. Distribusi panas yang tidak merata pada kedalaman menyebabkan distorsi (perubahan sudut).
- (c) *Rotational distortion*. Distorsi sudut dalam bidang pelat yang berkaitan dengan perluasan bidang panas.

- (d) *Longitudinal shrinkage*. Penyusutan searah garis las.
- (e) *Longitudinal bending distortion*. Distorsi dalam bidang yang melalui garis las dan tegak lurus terhadap pelat.
- (f) *Buckling distortion*. Kompresi yang berkenaan dengan panas menyebabkan ketidakstabilan ketika pelatnya tipis.



Gambar 2.10. Macam-macam distorsi dalam pengelasan. (Pilipenko, 2001)

Terdapat 3 pendekatan untuk menyelesaikan masalah distorsi :

1. Pengembangan proses pengelasan dan prosedur fabrikasi untuk meminimalisasi terjadinya distorsi.
2. Pembuatan standar perbandingan mengenai toleransi minimal distorsi pengelasan.
3. Pengembangan teknik untuk menghilangkan distorsi setelah distorsi tersebut muncul.

Cara-cara yang dapat ditempuh untuk meminimalisasi terjadinya distorsi diatas adalah lebih mudah daripada harus menghilangkan distorsi setelah pengelasan selesai dilakukan.

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pengelasan agar distorsi dapat dihindarkan ;

- *welding sequence* = melakukan urutan pengelasan dengan aturan tertentu sesuai dengan perilaku material.
- Derajat pengekanan = menentukan seberapa besar tahanan untuk mempertahankan material tetap dalam posisinya (ballasting, atau dengan berat sendiri).



- Kondisi pengelasan = suhu *pre-heat* atau *interpass* serta keadaan lingkungan
- Detail sambungan = bentuk geometri sambungan lasan dan jenis sambungan mempengaruhi bentuk distorsi yang terjadi.

#### 2.4.1 Metodologi Analisa Distorsi

Hingga saat ini, pendekatan yang digunakan untuk menganalisa distorsi menggunakan simulasi analitis. Simulasi analisis memungkinkan kita untuk tidak hanya mempelajari kinetika distorsi setelah pengelasan, tetapi juga pergerakan metal transient dengan baik. Metoda simulasi ini memerlukan solusi-solusi numeris yang cukup banyak dan membutuhkan bantuan komputer untuk menyelesaikannya. Simulasi analitis sangat cocok digunakan untuk menganalisa pengelasan yang bersifat solusi transient. Sedangkan untuk menganalisa distorsi setelah pengelasan terjadi, analisisnya hanya menggunakan kalkulasi matematis sederhana yang memperlakukan distorsi sebagai bentuk tegangan elastik yang mengandung regangan-regangan dalam tak-tentu.

#### 2.4.2 Penentuan Derajat Pengekangan

Derajat pengekangan menyatakan seberapa besar penahanan material terhadap beban panas yang diberikan selama proses pengelasan berlangsung. Penentuan derajat pengekangan ini diperlukan untuk mengetahui besarnya penyusutan transversal yang terjadi setelah siklus panas-dingin terjadi pada material las. Karena ketika panas menjalar pada jalur las, material akan mengalami peregangan, dan ketika suhu mulai turun, material akan cenderung ingin kembali kepada bentuk semulanya. Tegangan tarik terjadi pada struktur mikro material yang meregang tadi sehingga material akan mengalami penyusutan dan terbentuklah konsentras tegangan terpusat yang ada dalam jalur las.

Kihara dan Masubuchi membangun konsep analitis untuk menentukan derajat pengekangan dalam sambungan lasan celah. Pengelasan yang serupa dengan ini adalah pengelasan untuk operasi perbaikan. Dalam pengelasan celah, penyusutan melintang dikekang oleh logam murni pada sekitar lasan. Dalam sambungan celah, derajat pengekangan,  $k_s$ , ketika pengelasan dilakukan antara  $x = x_1$  dan  $x_2$  (panjang celah  $L$ ; panjang lasan  $l = x_1$  hingga  $x_2$ ), didefinisikan dengan persamaan berikut :

$$K_s = (\pi/2)(E/L)(I/L)(I/F) \quad (2.34)$$

Dimana :

$$F = \sum_{n=1}^{\infty} I/n \left( \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin \theta \cdot \sin n\theta \cdot d\theta \right)^2 ,$$

$$X_1 = (L/2) \cos \theta_1,$$

$$X_2 = (L/2) \cos \theta_2$$

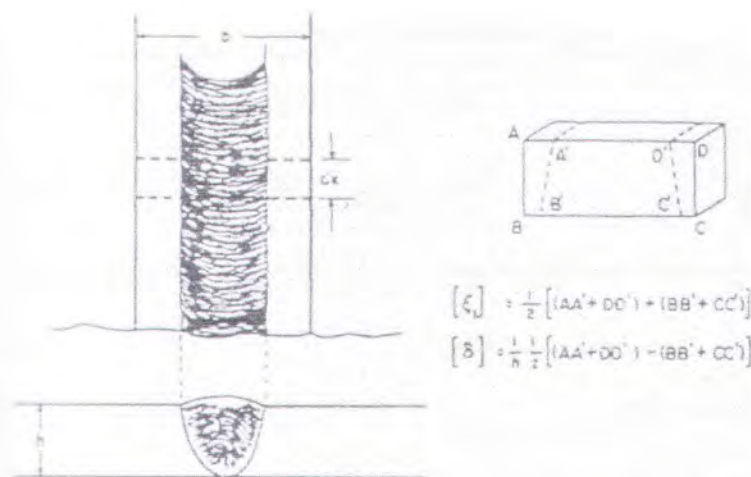
### 2.4.3 Formulasi Distorsi Watanabe-Satoh

Berdasarkan eksperimen yang luas dan studi analitis, Watanabe dan Satoh mengembangkan formulasi untuk berbagai jenis distorsi yang terjadi dalam pengelasan (khususnya transverse shrinkage dan perubahan angular).

Formula tersebut dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut :

- karakteristik busur las ; arus (i - ampere), voltage (V - volt), efisiensi busur las ( $\eta$ ), dan kecepatan pengelasan (v - cm/s)
- Karakteristik sambungan ; luasan bidang perkenaan las ( $A - \text{cm}^2$ ), dan banyaknya filler metal tiap unit panjang lasan ( $W - \text{g/cm}$ )
- Karakteristik elektroda ; berat elektrode cair per unit arus dan waktu ( $\text{g/amp/sec}$ ); efisiensi deposisi elektroda ( $\mu$ ), dan diameter elektroda ( $\emptyset - \text{mm}$ )

Pada analisis Watanabe-Satoh, digunakan istilah penyusutan sifat /inherent shrinkage ( $\zeta$ ) dan sifat angular / inherent angular ( $\delta$ ).



Gambar 2.11. Rumusan distorsi inherent (Watanabe- Satoh, 1980)



Jadi komponen distorsi *inherent* menurut Watanabe-Satoh adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\zeta &= 1/2 [(AA' + DD') + (BB' + CC')] \\ \delta &= 1/h \cdot 1/2 [(AA' + DD') - (BB' + CC')]\end{aligned}\quad (2.35)$$

#### 2.4.4 Penyusutan Transversal pada Pengelasan Sambungan Butt-joint

Komponen faktor penyebab utama terjadinya transversal shrinkage (penyusutan melintang) adalah karena ;

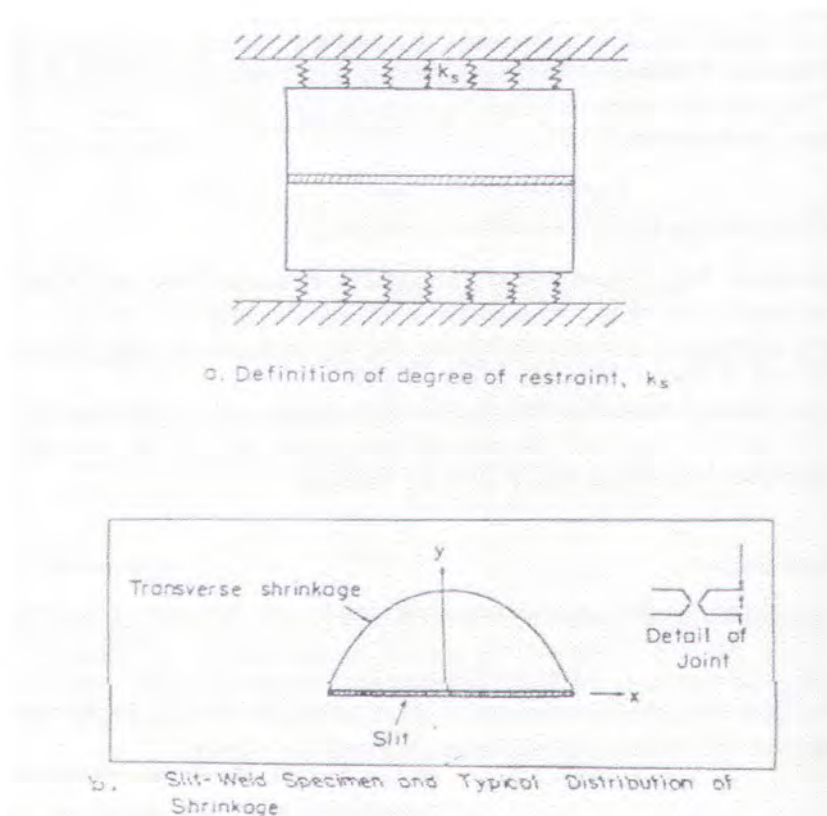
- distorsi rotasional : ketika pengelasan dilakukan secara progresif dan kontinyu dari ujung ke ujung, bagian sambungan yang tidak mengalami pengelasan akan mengalami pergerakan sehingga terjadi puntiran yang disebut distorsi rotasional seperti gambar aneka distorsi diatas.
- Pengekangan : banyaknya penyusutan yang terjadi ditentukan oleh seberapa besar derajat pengekangan yang terjadi dalam sambungan.

Spesimen uji yang dipakai adalah sambungan plat low carbon steel yang memiliki panjang 20 inc, lebar 6 inc, dan tebal 0,25 inc tanpa selisih celah. Rumusan yang dihasilkan oleh Capel (1982) adalah sebagai berikut ;

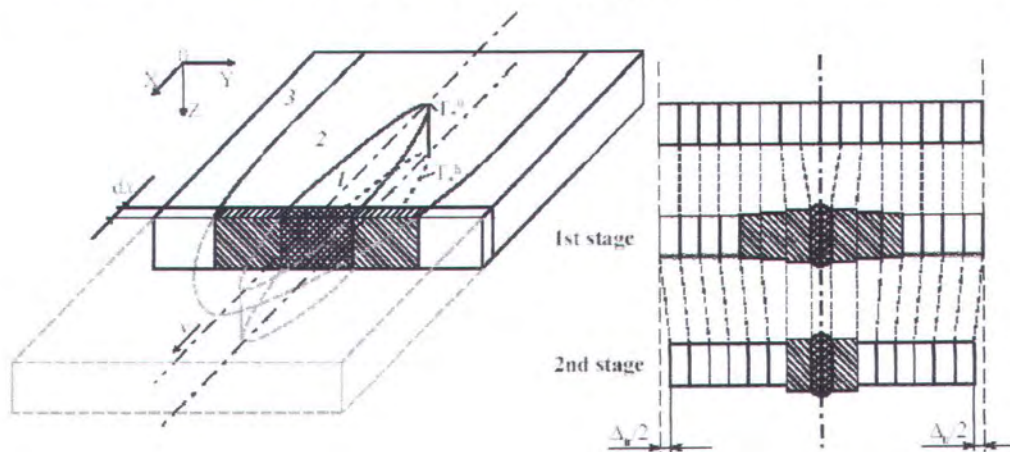
$$\Delta l(\text{carbonsteel}) = \frac{17,4 \times W \times 10^3}{s \times u} \quad (2.36)$$

Dimana :

$\Delta l$	= penyusutan melintang, mm
$s$	= ketebalan lapisan las , mm
$u$	= kecepatan pengelasan, cm/min
$W$	= $I \times V$ = tenaga listrik busur las
$I$	= arus las, ampere
$V$	= tegangan busur las, volt



Gambar 2.12. Definisi derajat pengekanan penyebab distorsi (Masubuchi, 1980)



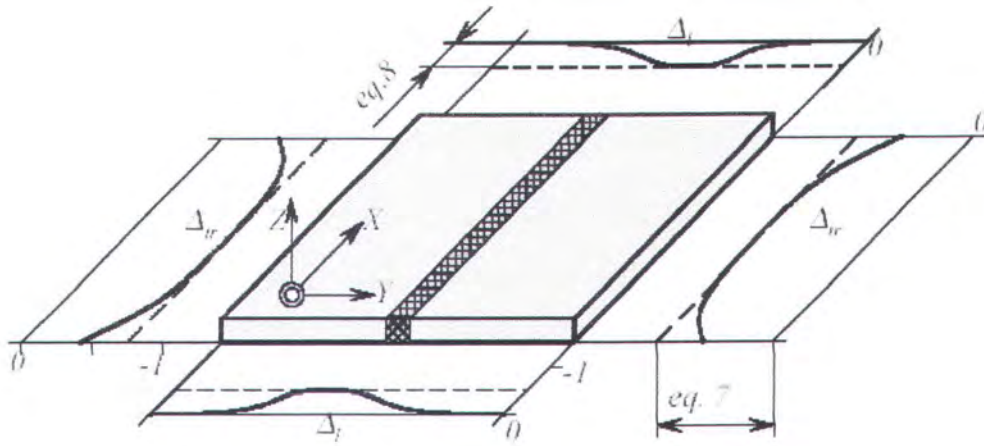
Gambar 2.13. Mekanisme terjadinya penyusutan transversal (Pilipenko, 2001)

#### 2.4.5 Penyusutan Memanjang (longitudinal shrinkage)

Besarnya penyusutan yang terjadi biasanya sekitar 1/1000 dari panjang sambungan. Biasanya penyusutan seperti ini jarang terjadi oleh karena itu studi spesifik kurang banyak dilakukan, tetapi King (1974) telah merumuskan sebagai berikut :



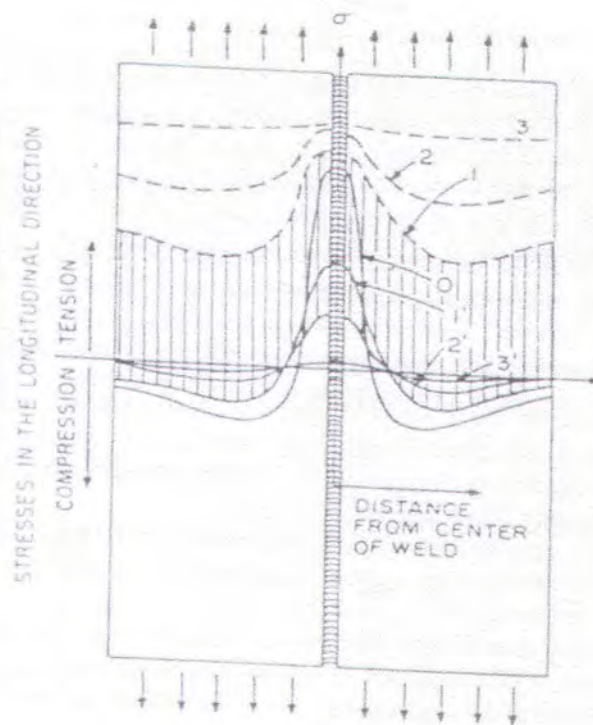
$$\Delta L = \frac{0,12 \times I \times L}{100000 \times t} \quad (2.37)$$



Gambar 2.14. Mekanisme penyusutan material secara memanjang (Pilipenko, 2001)

#### 2.4.6 Distorsi Tekukan Memanjang (longitudinal bending)

Hal ini terjadi ketika garis lasan tidak sama dengan sumbu netral dari geometri struktur las, jadi penyusutan memanjang ini termasuk terjadinya *bending moment* (momen tekuk) yang menyebabkan terjadinya tekukan ke arah memanjang searah jalur las.



Gambar 2.15. Tekukan memanjang pada pengelasan tumpul / butt-weld

$$\sigma_x = -E\varepsilon''_x + \frac{M_y^*}{I_y}z + \frac{P_x^*}{A} \quad (2.38)$$

$$l/R = M_y^*/EI_y = P_x l^*/EI_y \quad (2.39)$$

Dimana :  $\varepsilon_x''$  = incompatible strain (regangan tak tentu)

$A$  = luasan penampang sambungan

$I_y$  = momen inersia sambungan disekitar sumbu netral

$P_x^*$  = gaya susut yang tampak =  $\iint E \varepsilon_x'' dydz$

$M_y^*$  = momen susut yang tampak =  $\iint E \varepsilon_x'' z dydz = P_x^* l^*$

$l^*$  = jarak antara sumbu netral dan sumbu kerja gaya susut

persamaan diatas sangat diperlukan untuk mengetahui distribusi incompatible strain dan distribusi tegangan sisa yang diakibatkan perubahan susut panjang ini.



#### 2.4.7 Distorsi Berombak (buckling distortion)

Kasus ini sering terjadi karena pengelasan sambungan plat tipis dengan metode SAW.

Distorsi ini beda dengan distorsi bending karena :

- terdapat lebih dari satu bentuk yang terdeformasi tetap.
- Terjadinya deformasi relatif lebih besar dibandingkan bending.

Belum ada rumusan yang pasti untuk mengukurnya, tetapi Masubuchi, et al (1980) telah melakukan eksperimen dan menghasilkan banyak grafik untuk mengekspresikan bagaimana pengaruh ketebalan plat terhadap terjadinya buckling dengan proses pengelasan SAW.



Gambar 2.16. Distorsi berombak



**BAB III**  
**METODOLOGI**



## BAB III

### METODOLOGI

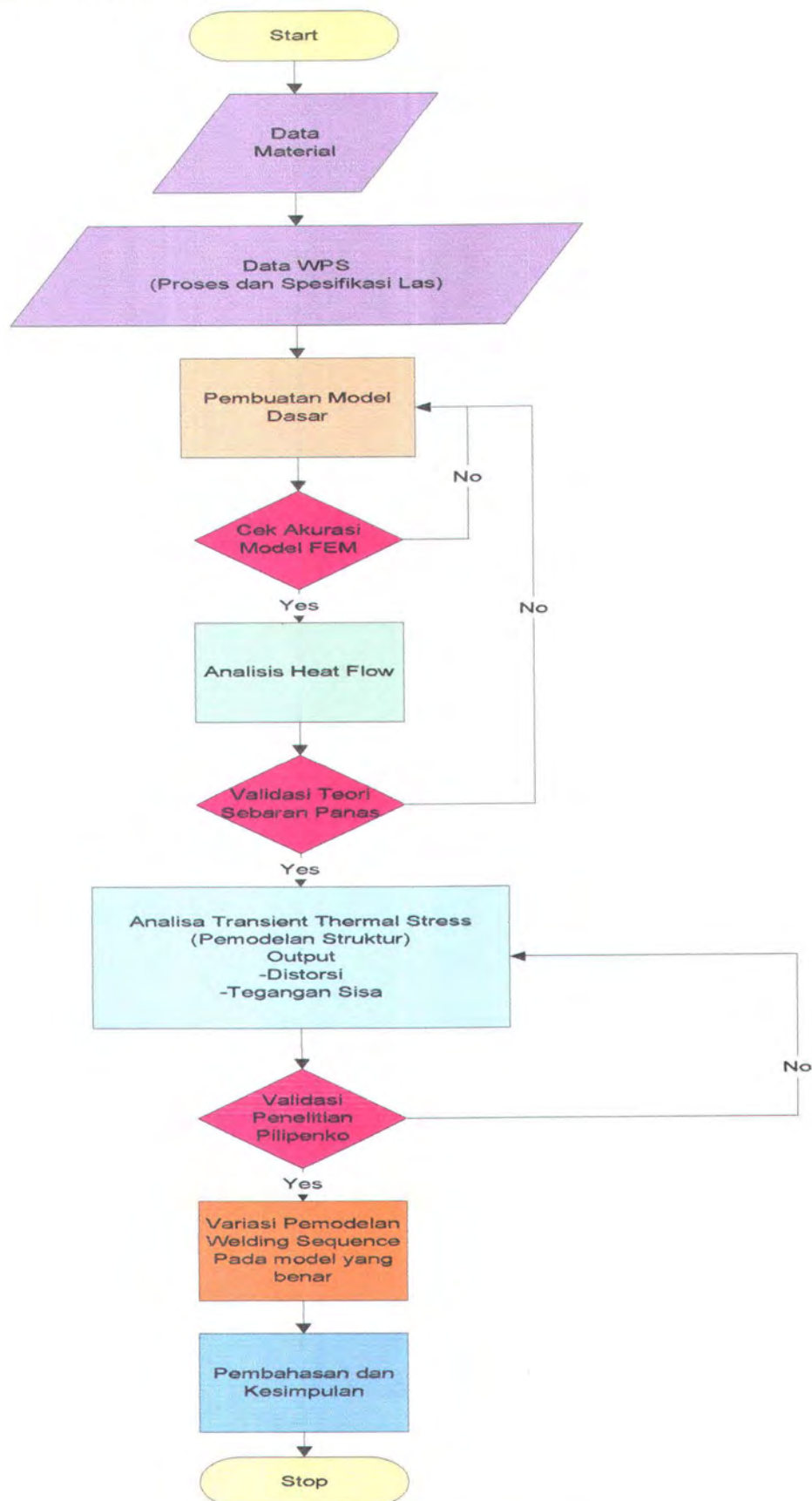
#### 3.1 Umum

Penelitian yang dilakukan ini hanya melakukan simulasi pemodelan pengelasan tanpa adanya eksperimen khusus. Analisa yang digunakan adalah berdasarkan pada metode elemen hingga.

Metode elemen hingga adalah metode numeris untuk memodelkan perilaku sistem rekayasa. Metode ini menjadikan bentuk fisik model plat sambungan las sebagai suatu sistem linear yang berkesinambungan dengan cara membagi bentuk plat dan sambungan las menjadi kelompok elemen yang lebih kecil. Elemen-elemen ini dihubungkan dengan simpul-simpul (nodes) sehingga menjadi suatu sistem yang kontinyu. Sebagai acuan perhitungan dalam metode elemen hingga biasanya adalah *displacement* -nya, yaitu perpindahan simpul-simpul akibat beban panas yang dianalisa sebagai parameter yang belum diketahui.

Pengerjaan tugas akhir ini dibantu oleh perangkat lunak ANSYS 6.0 yang berbasis metode elemen hingga. Dalam *software* ini terdapat banyak sub-produk untuk menyelesaikan permasalahan sesuai dengan disiplin bidang keilmuan yang akan digunakan. Prinsip dasar pemodelan yang dilakukan adalah bagaimana respons struktur riil terhadap pembebanan yang dilakukan. Kemudian menentukan solusi yang akan dipakai berdasarkan teori dasar dan kenyataan sesungguhnya perilaku material terhadap beban eksternal. Untuk kasus pengelasan ini, terdapat beberapa disiplin ilmu yang akan dipakai dalam penyelesaiannya yaitu ilmu termodinamika dan mekanika bahan. Sub-produk yang akan dipakai adalah ANSYS/Multiphysics, yang mengakomodasi penyelesaian solusi thermal-struktural.

### 3.2. Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1. Bagan Alir Pengerjaan



### 3.2.1 Penjelasan Bagan Alir Pengerjaan

- A. Pengumpulan data material meliputi data-data fisik (*Poisson Ratio, Yield Strength, Modulus Young, Strain and Stress, Densitas, Specific heat, dll*) dan detail material yang diperlukan dalam pemodelan
- B. Acuan data spesimen dan spesifikasi pengelasan (WPS) untuk pengelasan SAW jenis butt-joint.
- C. Pemodelan menggunakan ANSYS 6.0 meliputi pembuatan geometri, dan prosesi akurasi dalam metode elemen hingga (*mesh accuracy*).
- D. Melakukan analisis sebaran panas dalam proses pengelasan akibat beban dinamis (transien) yang berubah menurut *increment* waktu dan posisi serta menyesuaikan hasil yang diperoleh dengan teori sebaran panas dan membandingkannya dengan penelitian Pilipenko (2001).
- E. Melakukan analisis struktural akibat pembebanan panas yang menghasilkan keluaran berupa tegangan dan displasmen. Beban yang digunakan berasal dari keluaran hasil analisa termal pada poin D. Kemudian melakukan validasi hasil dengan penelitian Pilipenko (2001).
- F. Melakukan variasi urutan pengelasan untuk mencapai sasaran akhir yaitu hasil pengelasan yang paling optimum.
- G. Membahas hasil pemodelan serta mengambil kesimpulan.

### 3.3 Data Spesimen

Dimensi dan spesifikasi plat sebagai spesimen yang digunakan dalam pemodelan pengelasan ini dijabarkan sebagai berikut;



Dimensi plat : panjang x lebar x tebal = 500 x 400 x 20 mm

Gambar 3.2 Spesimen plat

#### 3.3.1 Standard WPS (*Welding Procedures Specification*)

##### A. BASE METAL

1. Material Specification : EH 36 / ASTM A-131
2. Code Classification : ABS Class A

- 3. Thickness : 20 mm
- 4. Type : Plate

#### **B. WELDING MATERIAL**

- 1. Process : SAW
- 2. Weld Metal : 1
- 3. F no. : 4
- 4. Specification SFA no. : 5,17
- 5. AWS Classification : F7A6 / EH 12 K
- 6. Manufacturer : ESAB
- 7. Electrode/Filler Trade Mark : LS - 3
- 8. Electrode/Filler Diameter (mm) : 4
- 9. Flux Trade Name : ESAB / OK 40
- 10. Max Deposited Weld Metal Thickness (mm): 4
- 11. Torch Gas : -
- 12. Flow Rate – CFH : -
- 13. Backing Gas : -
- 14. Flow Rate – CFH : -
- 15. Non Consumable Electrode : -
- 16. Non Consumable Electrode (mm) : -

#### **C. ELECTRICAL CHARACTERISTIC/TECHNIQUE**

- 1. Pass Number : Cap – Single/double
- 2. String/Weave Technique : String
- 3. Max Width of Weld Bead (mm) : 15
- 4. Current – Polarity : DC EP
- 5. Electrode Stickout (mm) : -
- 6. Orifice Cup Size : -
- 7. Arc Mode : -

#### **D. JOINT DETAIL PASS SEQUENCE AND ELECTRODE SETUP**

- 1. Pass Number : 1/2
- 2. Position Qualified : 1G
- 3. Vertical Welding Progression : -



## E. WELD TEMPERATURE

1. Minimal Welding Temperature : 39 - 44°C
2. Maximal Interpass Welding Temperature : 305°C

### 3.3.2 *Material Properties*

#### MATERIAL PROPERTIES

#### STEEL, PLAIN CARBON ALLOY ASTM A-131 HSLA

##### 1. DENSITY

7.85 (g/cm<sup>3</sup>)                      0.283 (lbm/in<sup>3</sup>)

##### 2. MODULUS ELASTICITY

207 (GPa)                      30 x 10<sup>6</sup> (Psi)

##### 3. POISSON'S RATIO

0.3

##### 4. STRENGTH & DUCTILITY

Yield Strength : 400 (MPa)                      58.01 (ksi)

Tensile Strength : 585 (MPa)                      84.84 (ksi)

Percent Elongation : 35.8

##### 5. PLANE STRAIN FRACTURE TOUGHNESS

Fracture Toughness : 54 (Mpa/m)                      49 ksi

Strength : 260 (MPa)

##### 6. LINEAR COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION

11 – 12 x 10<sup>-6</sup> (°C)<sup>-1</sup>                      6.1 – 6.7 x 10<sup>-6</sup> (°F)<sup>-1</sup>

##### 7. THERMAL CONDUCTIVITY

51.9 (W/m-K)                      30 (Btu/ft-h-°F)

##### 8. SPECIFIC HEAT

486 (J/kg-K)                      11.6 x 10<sup>-2</sup> (Btu/lbm-°F)

##### 9. ELECTRICAL RESISTIVITY

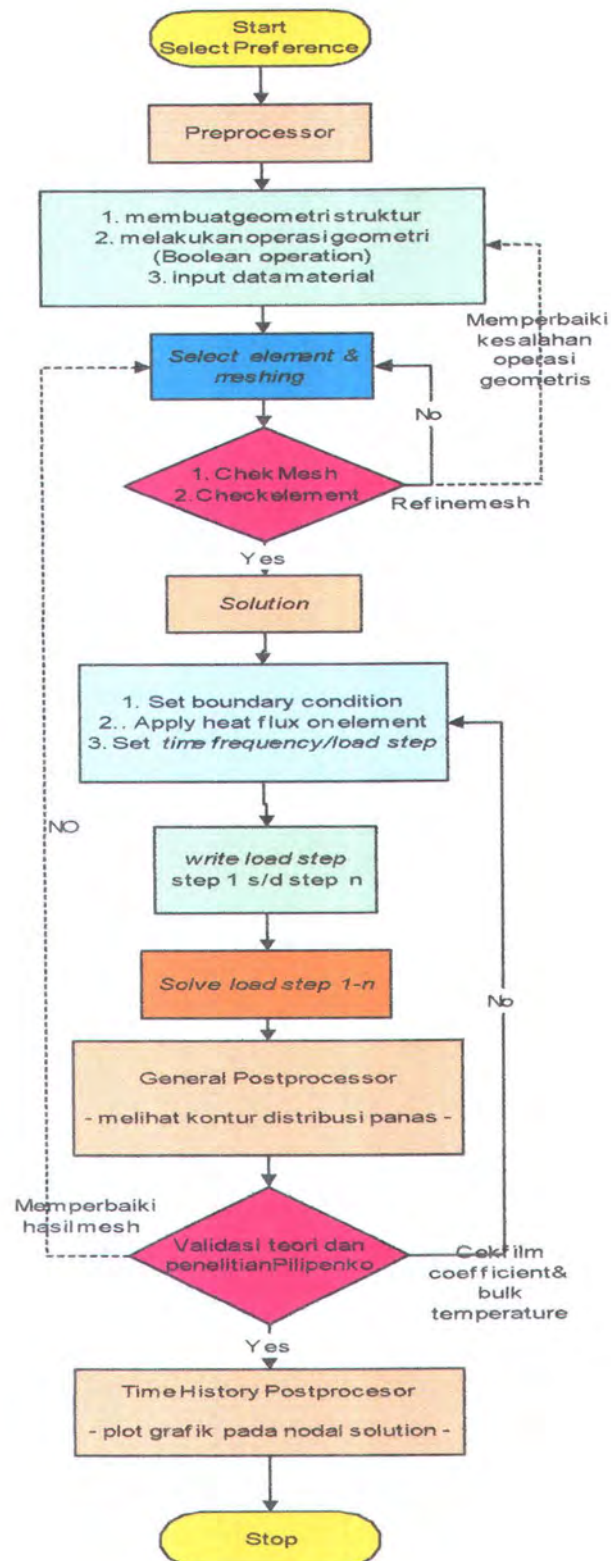
1.59 x 10<sup>-7</sup> Ω-m

##### 10. METAL ALLOY COMPOSITIONS

99.1 Fe (min), 0.20 C, 0.45 Mn, additional composition.

### 3.4 Bagan Alir Pemodelan

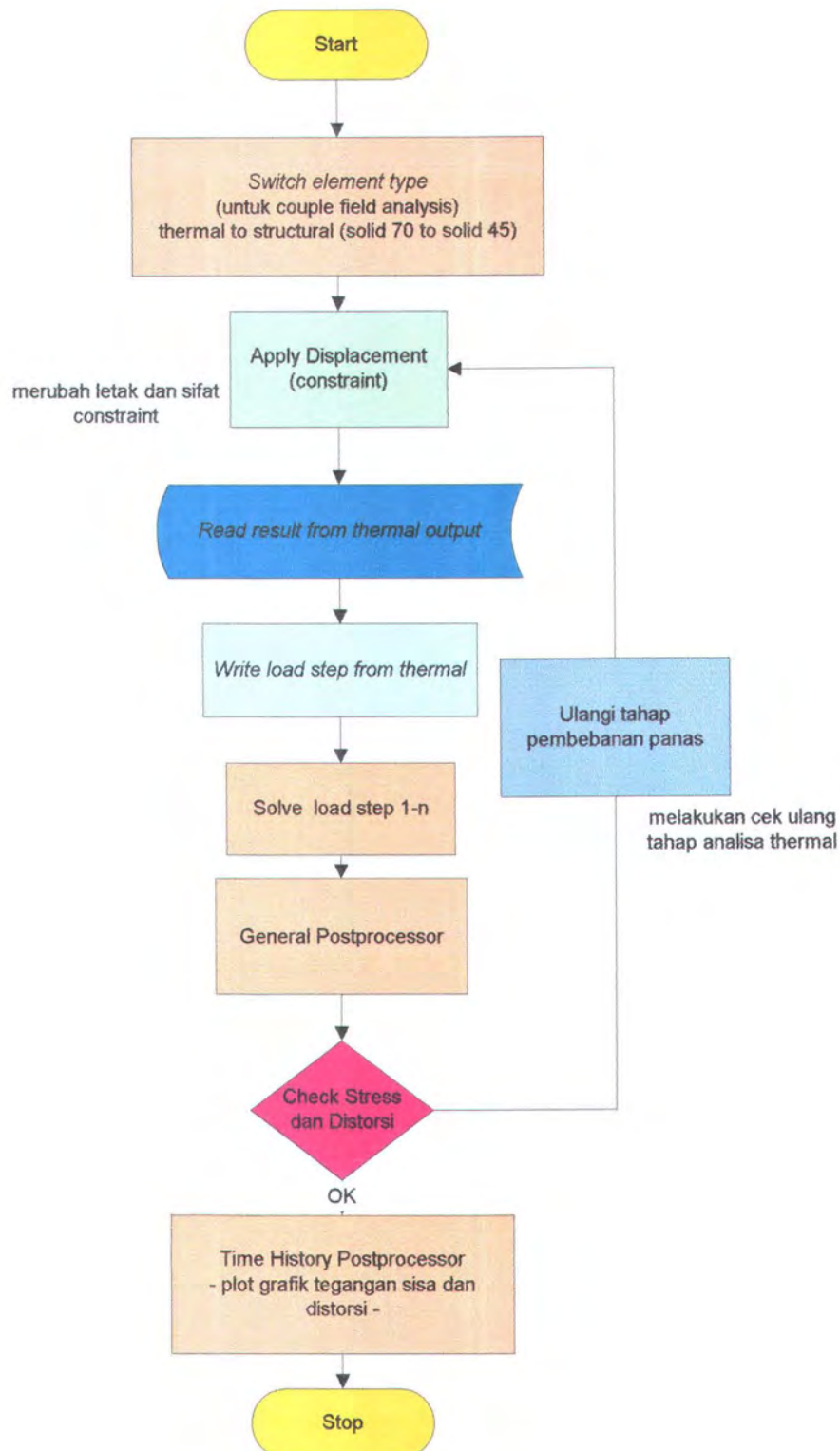
#### 3.4.1 Pemodelan Distribusi Panas



Gambar 3.3 Diagram Alir Pemodelan Panas



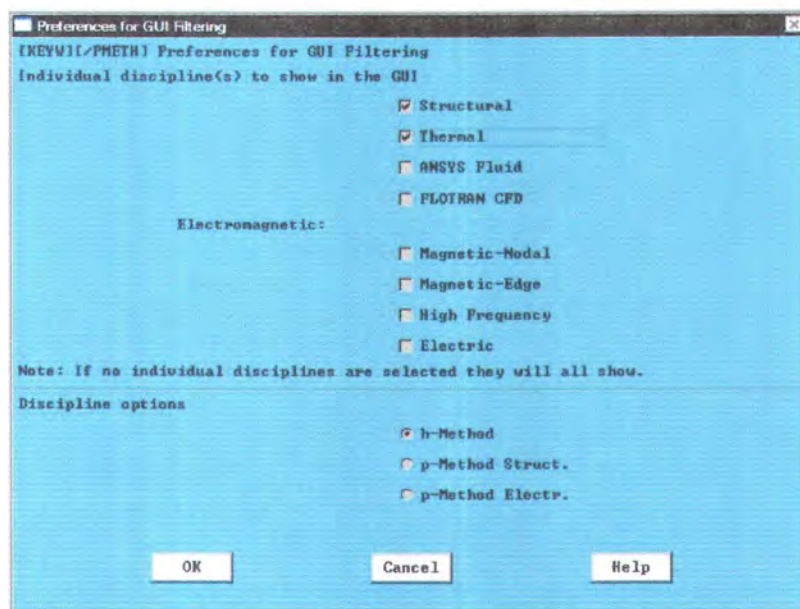
### 3.4.2. Pemodelan Struktural



Gambar 3.4 Diagram Alir Pemodelan Struktural

### 3.5 Langkah Pengerjaan Pemodelan

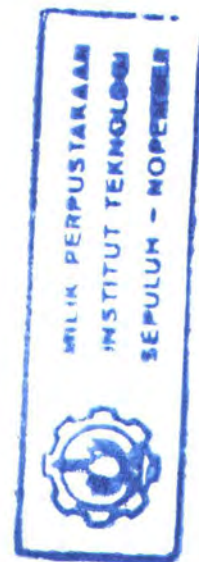
Sebelum melakukan pemodelan, pertama-tama menentukan bidang analisa yang diinginkan pada opsi *preference* untuk memilih disiplin keilmuan yang digunakan atau cakupan solusi yang diharapkan. Analisis yang digunakan adalah *thermal* dan *structural*. Setelah itu menentukan sistem satuan yang akan dipakai apakah satuan british atau SI dalam pemodelan melalui opsi *system units*. ANSYS secara otomatis mengkonversi semua data numerik yang masuk menjadi satuan acuan dasar misalnya Metre Kilogram Second untuk SI dan Feet Pound Second untuk British.



Gambar 3.5 Kotak dialog *preference* pada Ansys 6.0.

#### 3.5.1 Pembuatan Model Geometri

Tujuan utama *finite element analysis* adalah untuk mengekspresikan perilaku nyata sebuah sistem rekayasa secara matematis. Oleh karena itu untuk membuat model 3 dimensi kasus pengelasan plat butt-joint langkah pertama adalah memodelkan struktur plat secara 3 dimensi dalam ANSYS. Jenis model yang dipakai adalah 3D volume, dan langkah pemodelan yang dipakai adalah *bottom-up* yaitu membuat model dari *entity* yang terendah yaitu pendefinisian letak titik, penghubungan garis, plot bidang, kemudian penggabungan volume. Selain itu, ANSYS juga menyediakan fasilitas pembuatan geometri secara *top-down*, langkah ini dilakukan seperti pemahatan patung yaitu membuat bentuk dasar yang kemudian dimodifikasi dengan operasi-operasi geometris.





Operasi yang dilakukan pertama adalah mendefinisikan *keypoint* sesuai bentuk fisik plat I, kemudian menghubungkan tiap-tiap *keypoint* untuk membentuk garis, antar garis menjadi bidang, dan yang terakhir antar bidang menjadi volume solid. Untuk plat II dilakukan operasi *reflect* yaitu mencerminkan plat I terhadap bidang kerja *working plane* YZ. Operasi ini dilakukan karena plat I dan plat II memiliki dimensi yang identik serta sambungan celahnya diasumsikan 0 mm.

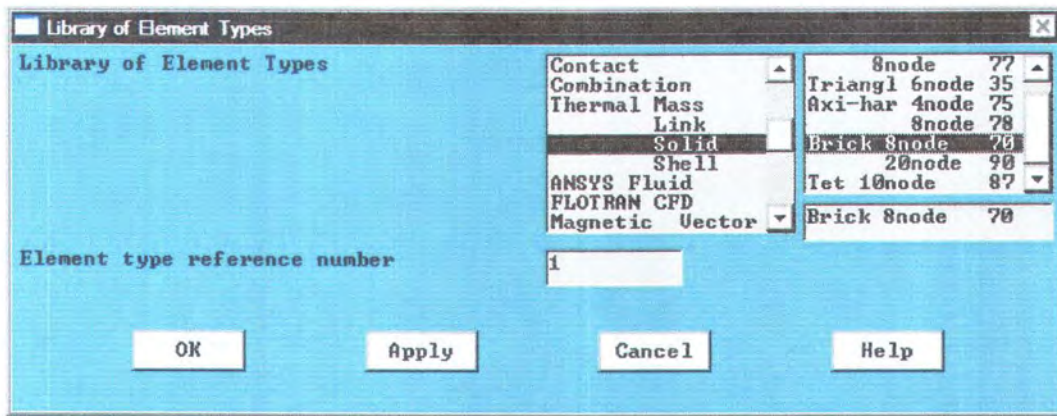
Setelah pembuatan geometri selesai, perlu dilakukan *Boolean operation* (preprocessor – operate – glue), proses ini menggabungkan kedua *entity* plat menjadi satu kesatuan geometris. Prinsip dasarnya adalah plat yang dilas akan menjadi satu kesatuan maka kedua volume haruslah disatukan dengan operasi *glue*.

### 3.5.2 Pemilihan Jenis Elemen

Setelah bentuk fisik 3D telah selesai dibuat, langkah berikutnya adalah memilih jenis elemen yang akan digunakan untuk keperluan analisis. Sesuai prinsip dasar *finite element modeling* yaitu membagi global sebuah sistem kedalam elemen-elemen kecil yang seragam. Karena pemilihan awal adalah solusi 3D untuk pemecahan kasus pengelasan, maka jenis elemen yang dipilih adalah SOLID70-3D yang memfasilitasi penyelesaian masalah thermal. Pemilihan jenis elemen haruslah sesuai dengan DOF (derajat kebebasan) yang dimiliki oleh elemen tersebut, jika tidak, masalah akan timbul saat solusi dilakukan karena elemen yang dipilih tidak mampu mengakomodasi penyelesaian permasalahan yang diharapkan. ANSYS menyediakan beberapa jenis elemen yang sesuai untuk kasus-kasus thermal, tetapi yang dipakai adalah SOLID70-3D setelah melakukan uji kesesuaian model karena elemen ini mampu digabungkan (*couple element*) dengan elemen SOLID 45-3D struktural yang nantinya akan dipakai untuk analisis struktur terhadap *thermal stress*.

Didalam option elemen, harus didefinisikan dengan jelas pula *key option*-nya bagaimana perilaku elemen tersebut terhadap beban eksternal, arah DOF yang diharapkan, konstanta real, akurasi penempatan elemen dalam kesatuan model geometri pada sumbu global, dan lain sebagainya.





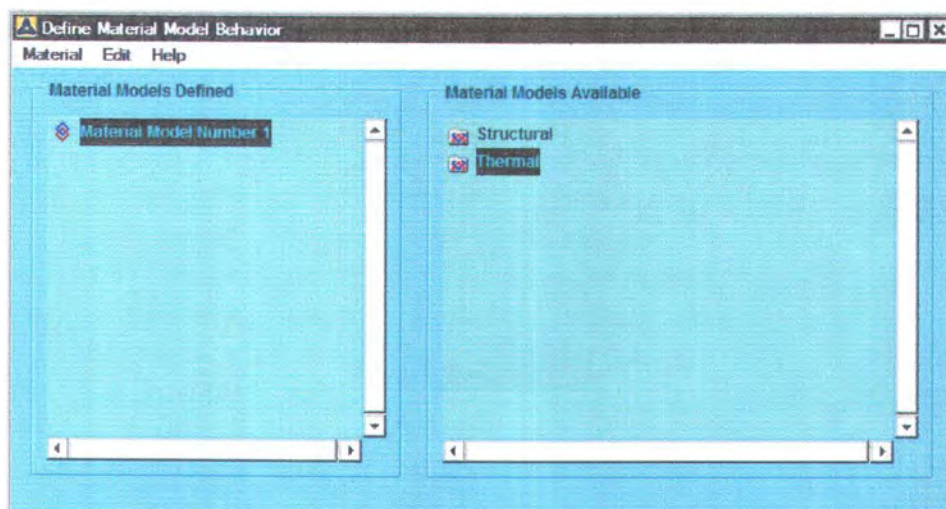
Gambar 3.6. Kotak dialog *library of element types* pada Ansys 6.0

### 3.5.3 Mendefinisikan Sifat-sifat Material (*Material Properties*)

Untuk dapat mengetahui perilaku riil sistem rekayasa akibat beban eksternal maka perlu pendefinisian sifat-sifat dasar material pembentuknya. Material properties yang diperlukan meliputi ;

- Density
- Specific heat
- Linear isotropic
- Thermal expansion
- Thermal conductivity
- Multilinear isotropic, dll (seperti dalam spesifikasi data material)

ANSYS memfasilitasi input data spesifik material dan perilakunya melalui opsi *Material Model Behavior*.



Gambar 3.7 Kotak dialog *Define Material Model Behavior* pada Ansys 6.0



### 3.5.4 Meshing

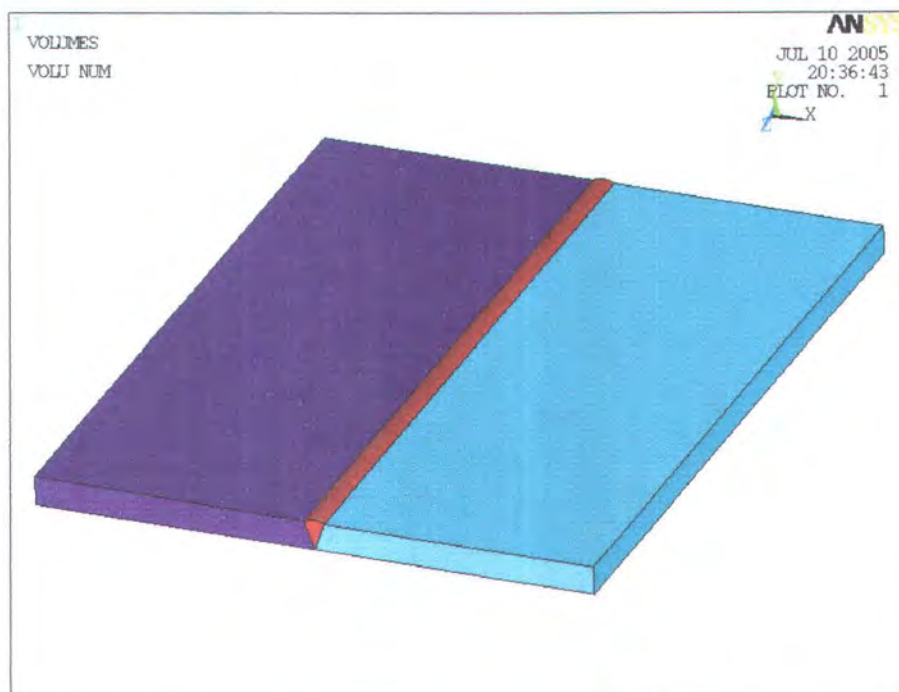
Proses *meshing* ini adalah untuk membagi keseluruhan sistem kedalam elemen-elemen kecil yang seragam dengan tujuan agar analisa akan semakin detail pada setiap titik dalam keseluruhan sistem tersebut. Sebelum proses *meshing* dilakukan, kita harus menentukan terlebih dahulu atribut-atribut material sesuai elemennya agar akurasi *meshing* terkendali melalui fasilitas *meshtool*.



Gambar 3.8 Kotak dialog *Mesh Tool* pada Ansys 6.0

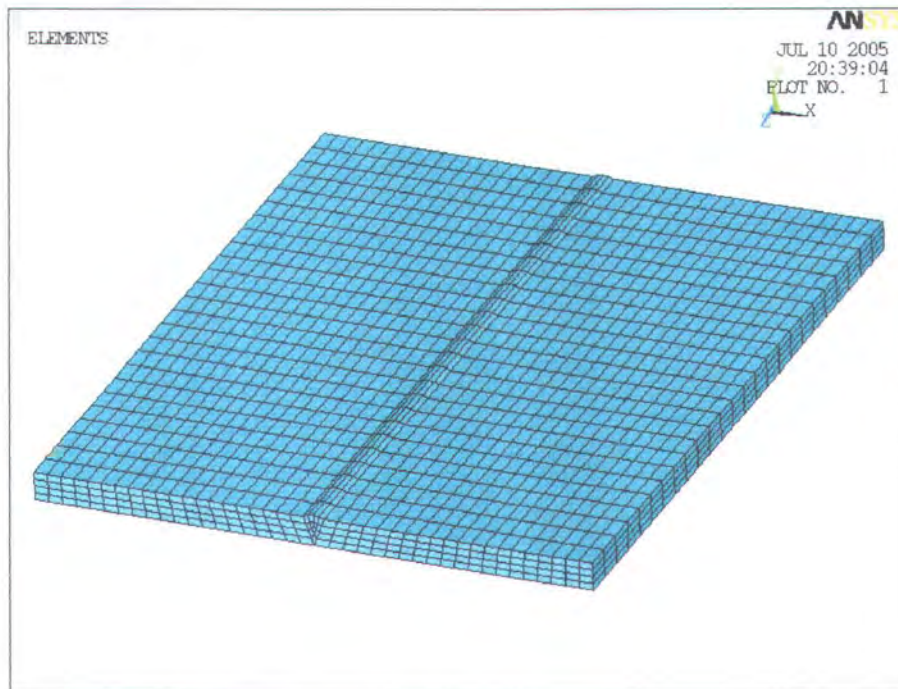
Definisi atribut ini meliputi ; nomor material, nomor elemen, konstanta real, dan elemen koordinat.

Setelah pendefinisian selesai dilakukan, maka mulailah melakukan proses meshing. Untuk mesh pada plat lasan, digunakan *mesh by line* yaitu membagi garis-garis pembentuk plat kedalam bagian-bagian kecil untuk memenuhi perbandingan ukuran standar elemen, dan kemudian melakukan operasi *mesh* pada volume plat yang telah dibagi berdasar garis tadi. Operasi yang sama dilakukan untuk meshing plat II. Bentuk elemen yang dipakai adalah *brick – 8 node* dengan bentuk mesh *hexahedral mapped*. Khusus untuk meshing filler metal, yang digunakan adalah elemen mesh *tetrahedral – free*.



Gambar 3.9 Model plat sebelum di-mesh (Ansys Plot)





Gambar 3.10 Model plat setelah di-mesh (Ansys Plot)

### 3.5.5 Pembebanan Thermal

Beban yang akan dialami oleh struktur adalah *transient thermal*. Langkah-langkah yang harus ditempuh dalam proses pemberian beban pada model adalah :

1. Memilih tipe analisis yang akan digunakan, yaitu dynamic load (transient). Pada modul ANSYS akan dipilih Solution > New Analysis > Transient. Kemudian langkah selanjutnya adalah menentukan Accuracy Level pada opsi 3.
2. Menentukan setting beban, mendefinisikan *initial condition*, yaitu *uniform temperature* dimana *uniform temperature* adalah keadaan *preheat* (temperatur material sebelum di las) dan juga temperatur referensi. Proses pemberian beban pada material yang telah di-mesh. Beban panas yang berupa heat flux diaplikasikan pada tiap elemen di sepanjang *weld path* yang sisinya *facing* atau kontak dengan *base metal* dan dapat mewakili penambahan material saat pengelasan dilakukan. Langkah berikutnya adalah melakukan *adjustment* pada *output control* sehingga output dari setiap *sub step load* dapat ditampilkan pada *final solution*. Langkah ini dapat dijalankan jika setting frekuensi yang digunakan untuk membagi satu *load step* ke dalam beberapa *sub step* sudah ditentukan. Tipe *time & sub step load* yang digunakan adalah fungsi *stepped*. Untuk kasus pengelasan pada kondisi *thermal loading* berlaku keadaan statis semu sehingga opsi solusi *Quasi static* harus

diaktifkan, hal ini mengacu pada Masubuchi (1980). Jika seluruh tahapan sudah dilalui, maka *apply load* sebagai *load step* dapat dilakukan. Hal ini dilakukan secara kontinyu yaitu membuat *file load step* dan *increment* waktunya setiap elemen sesuai dengan pembebanan elemennya. Langkah terakhir yang perlu dilakukan adalah mengeksekusi seluruh analisis respon material terhadap pembebanan yang diberikan pada opsi Solve > From load step files.

### 3.5.6 Pemodelan Struktural (*Couple Field Analysis*)

Setelah pembebanan panas dilakukan, maka akan muncul output berupa *thermal stress*. Output pada solusi pertama diaplikasikan kembali pada model material sebagai *initial load* bagi solusi struktural. Tahapan-tahapan yang harus dilalui adalah :

1. Melakukan *switching* elemen yang bersesuaian dari elemen yang mendukung thermal kepada elemen yang mendukung struktur (Solid 70 ke Solid 45).
2. Mengaplikasikan *constraint*(pengekangan) pada titik-titik yang diasumsikan tidak bergerak.
3. Mengeksekusi kembali solusi kedua dari *load step* sebelumnya (*thermal output* dalam file.rth). Setelah semua solusi selesai dilakukan, maka kita dapat mengetahui hasil perilaku material terhadap pembebanan thermal.





**BAB IV**  
**ANALISA HASIL DAN**  
**PEMBAHASAN**

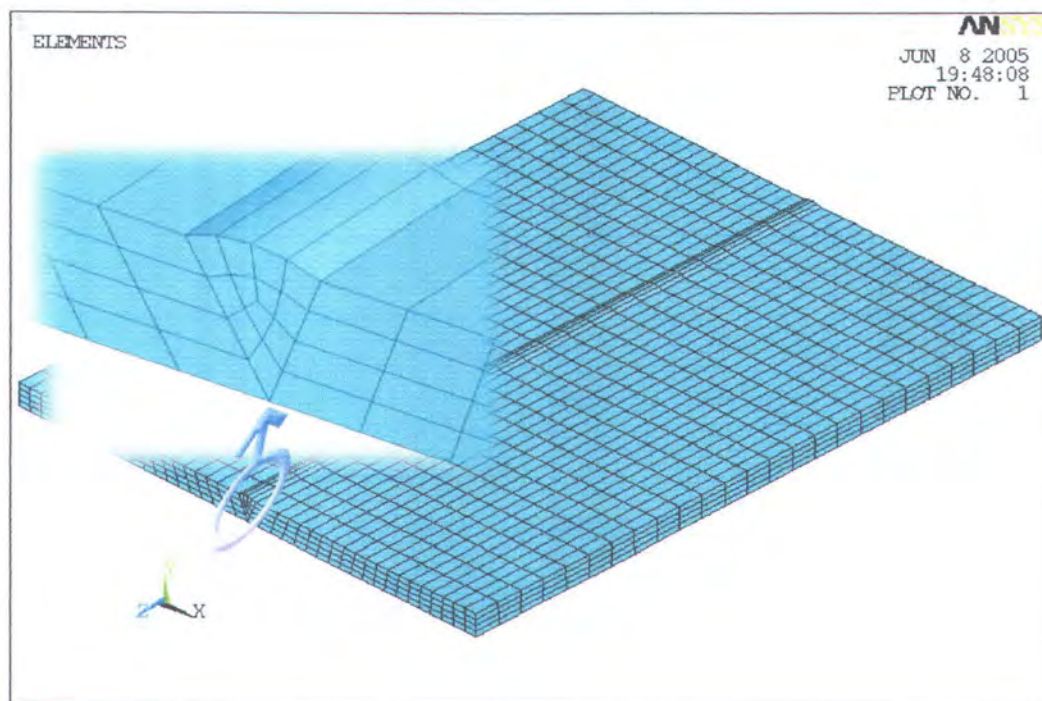


## BAB IV

### ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Umum

Pada bagian ini akan dibahas hasil dari pemodelan 3 dimensi yang telah dilakukan dengan perangkat lunak berbasis *finite element analysis*, yaitu model untuk analisa thermal structural pada material akibat pengelasan. Sesuai dengan sifat pembebanan yang dinamik yaitu perubahan beban berdasarkan fungsi posisi dan waktu maka analisa yang dilakukan adalah analisis *transient full solution method*. Pemodelan geometri plat dengan sambungan butt joint yang akan dilas dimodelkan sebagai berikut;



Gambar 4.1. *Finite element model*

Model diatas telah mengalami proses meshing sehingga untuk spesimen struktur berukuran 500 x 400 x 20 mm akan dibagi menjadi elemen-elemen kecil yang berukuran 20 x 10 x 5 mm. Total keseluruhan elemen yang terbentuk dari proses *meshing* ini adalah 5751 buah.

Analisa thermal yang dilakukan akan menghasilkan tegangan panas *transient*, yang kemudian dimasukkan dalam analisa struktural sebagai beban dinamis. Output akhirnya adalah berupa *transient stress*, *transversal residual stress (SX-final t)*, *longitudinal residual*



*stress* (SZ-final t) dan distorsi pada struktur akibat pengelasan. Variasi yang dilakukan dalam pemodelan ini adalah variasi jumlah pass, dan variasi urutan pengelasan yang kemudian akan diambil metode pengelasan paling optimum yaitu yang menghasilkan distorsi dan tegangan sisa paling kecil.

#### 4.2 Perhitungan Pembebanan

Untuk beban dalam model plat butt joint 3D ini akan dibebankan pada level *element load* yang secara otomatis oleh ANSYS akan ditransfer menjadi *nodal load*. Input beban yang dimasukkan dalam analisa adalah berupa heat flux, besarnya heat flux efektif yang dihasilkan oleh busur las didefinisikan sebagai berikut;

$$\begin{aligned} Q &= \eta UI \\ &= 90\% \times 35 \text{ Volt} \times 1000 \text{ Ampere} \\ &= 31500 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Setelah diketahui besarnya energi efektif yang dihasilkan busur las, maka besarnya *heat flux* yang dipakai sebagai input dalam kalkulasi FEM dihitung sebagai berikut :

$$q_1 = q_e \times \frac{A_1}{A_f}$$

dimana;  $q_1$  = heat flux pada elemen

$A_1$  = luasan permukaan elemen yang dikenai heat flux

$A_f$  = Luasan flux yang dihasilkan oleh elektroda

$q_e$  = heat flux yang dihasilkan elektrode

untuk  $q_e = Q/A_e$

dimana  $Q$  = heat input efektif busur las

$A_e$  = luasan elektrode yang mengenai material

$$\begin{aligned} \text{Maka ; } q_e &= 31500 \text{ Watt} / (2\pi r^2) \\ &= 31500 / (2\pi (2\text{mm})^2) \\ &= 1252,833 \text{ W/mm}^2 \end{aligned}$$

Dalam pemodelan, lasan dengan panjang 500mm dibagi menjadi 25 elemen memanjang dan lebar lasan 15mm dibagi menjadi 4 elemen, sehingga luasan elemen yang dibebani heatflux adalah sebesar  $20 \times 3,75 \text{ mm} = 75 \text{ mm}^2$ . Sesuai dengan data WPS (dari buku The Procedure Handbook of Arc Welding), maka kecepatan pengelasan yang dipakai untuk

*single pass one electrode* adalah 12 inch/minute atau 5,08 mm/det. Dengan kata lain, untuk panjang elemen 20mm dan *travel speed*  $\pm 5$  mm/det maka tiap elemen dibebani  $\pm 4$  detik. Mengacu pada The Procedure Handbook of Arc Welding, untuk elektroda dengan diameter 4mm dan waktu beban 4 detik, maka luas flux yang dihasilkan elektroda adalah sebesar,

$$A = b \times v \times t$$

Dimana ; A = luas flux

b = lebar jangkauan filler

v = kecepatan las

t = waktu pembebanan

$$\begin{aligned} A &= 15 \times 5 \times 4 \\ &= 300 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi heat flux per elemen adalah sebesar;

$$\begin{aligned} Q_1 &= 1252,833 \times \frac{75}{300} \\ &= 313,20825 \text{ W/mm}^2 = 313,2 \times 10^6 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Selain memberikan beban heat flux, juga harus diperhitungkan untuk masalah konveksi panas ke udara. Maka beban konveksi diberikan pada seluruh area model kecuali area dalam weld path. Besarnya *film coefficient* udara adalah  $30 \text{ W/m}^2\text{°K}$  dan *bulk* temperaturnya  $300^0 \text{ K}$ . Untuk suhu awal pengelasan dan temperatur referensi diasumsikan pada suhu kamar normal yaitu  $300^0 \text{ K}$ .

Solusi transient yang dilakukan adalah *stepped load* dengan *automatic time stepping* yang secara otomatis menghitung *increment* waktu aplikasi beban pada struktur.



### 4.3 Hasil Pemodelan

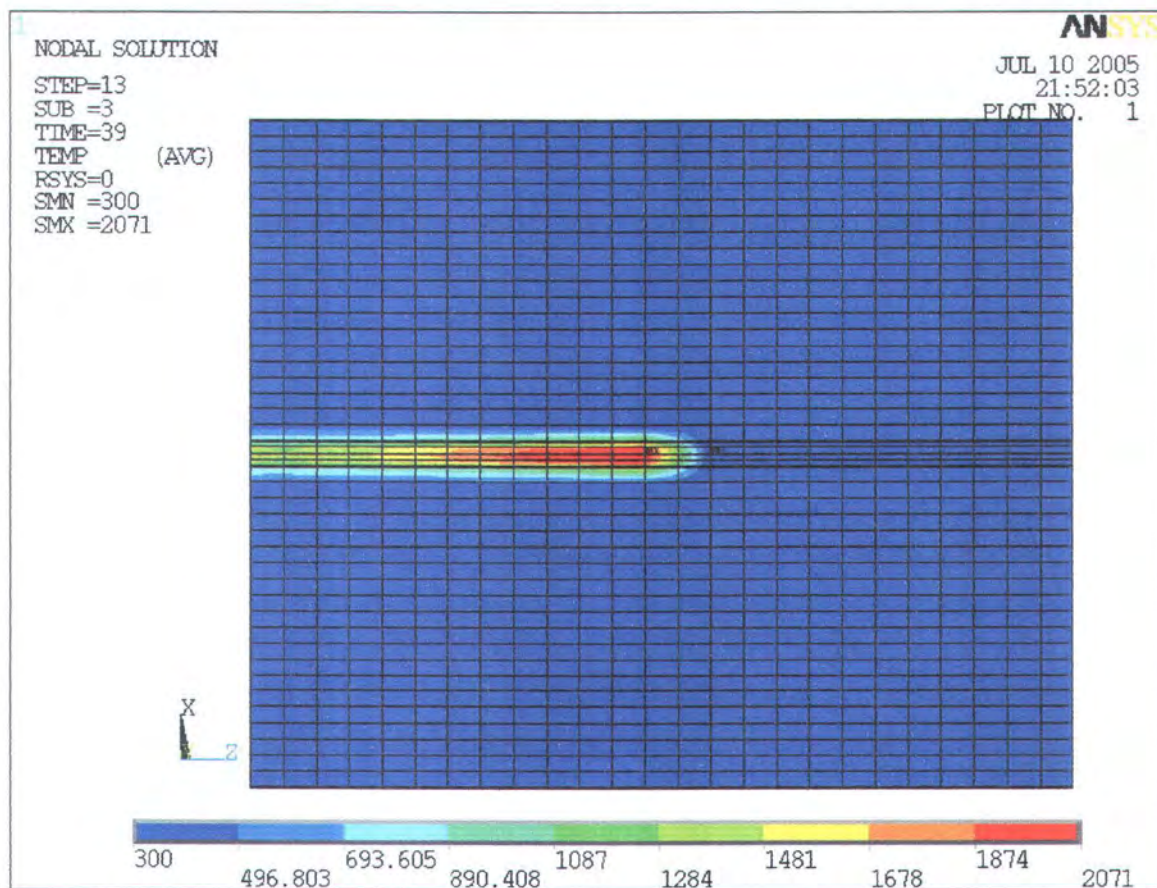
#### 4.3.1 Hasil Pemodelan Variasi I

Variasi ini memodelkan pengelasan SAW butt-joint dengan 1 kali pass ke arah sumbu Z+ dengan parameter heat input sebagai berikut:

Tabel 4.1 Parameter Heat Input pada variasi I

	Variasi I
Jumlah Pass	1
Urutan Las	1
Arus (Ampere)	1000
Tegangan (Volt)	35
Kecepatan Las	12 inc/mnt
Efisiensi	90%
Beban Heat Flux/element	313,2E6 W/m <sup>2</sup>
Kecepatan/element	4 det/e

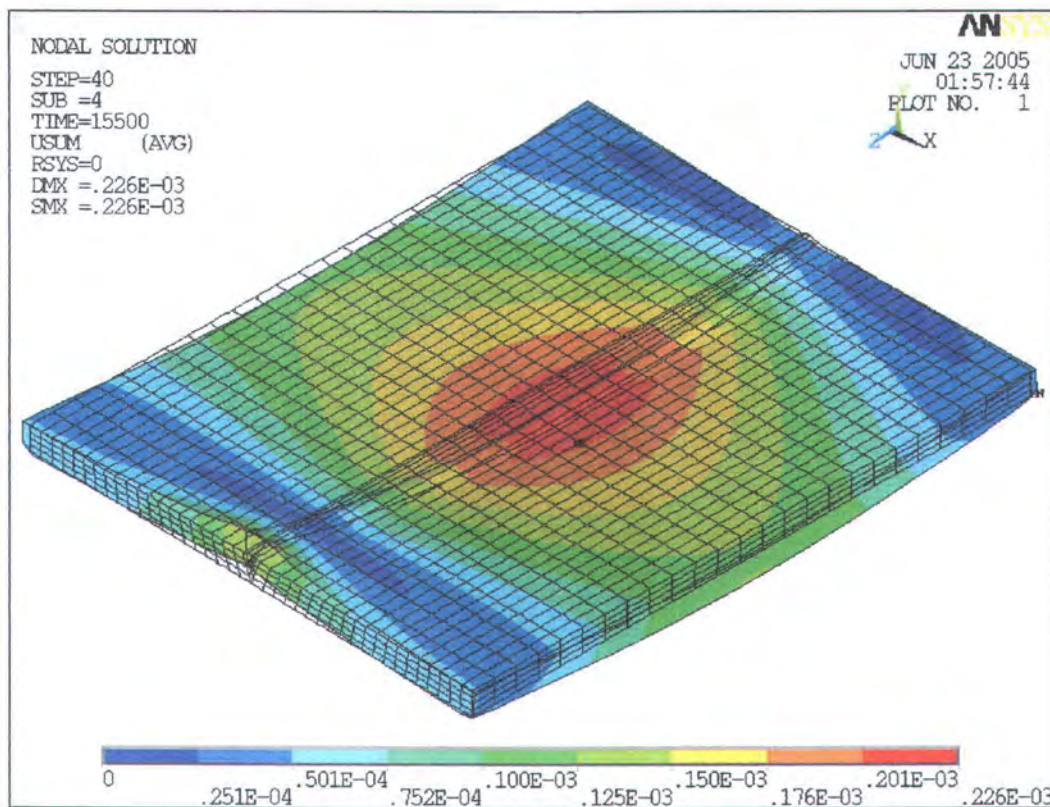
Pengelasan Variasi I menghasilkan distribusi panas seperti gambar dibawah ini;



Gambar 4.2 Pola sebaran panas pada pengelasan variasi I

Temperatur pada proses ini terdistribusi tepat seperti acuan teori sebaran panas pada plat pejal yaitu temperatur berada dalam rentang  $300^{\circ}\text{K} - 2071^{\circ}\text{K}$ . Temperatur tertinggi berada pada areal yang dikenai busur lasan. Gambar diatas adalah plot temperatur pengelasan pada step ke-13 (detik ke-39) dimana busur las berada pada elemen ke-13 dalam weld path atau 260mm dari titik awal pengelasan..

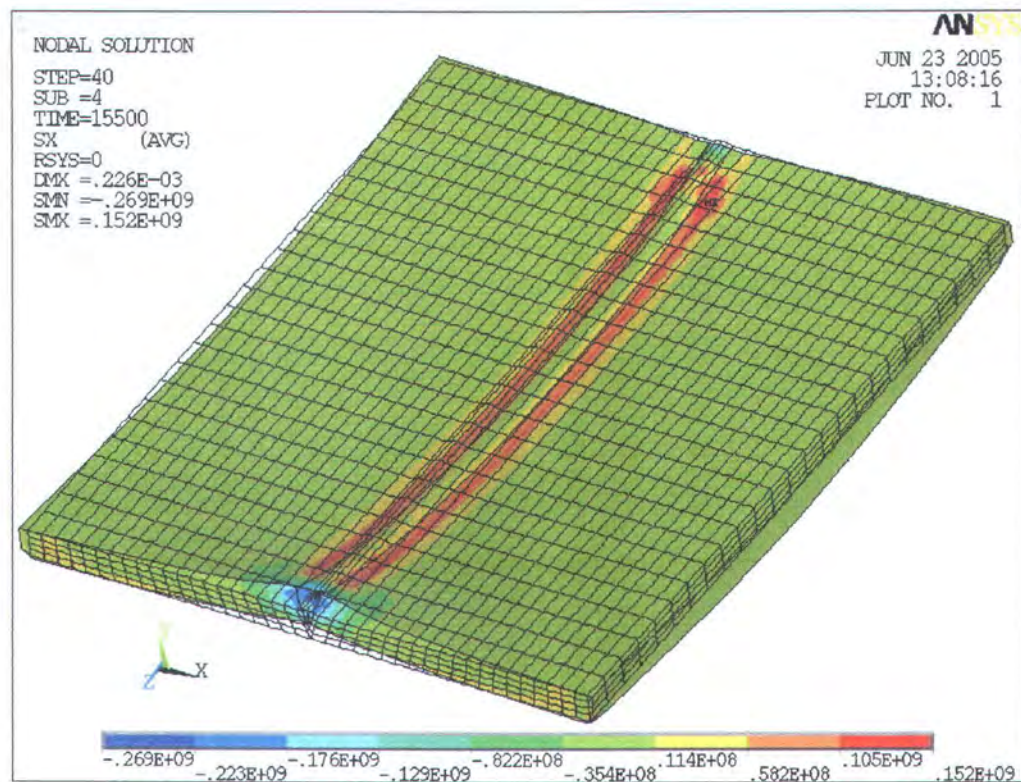
Untuk pemodelan strukturalnya menghasilkan distorsi bending sebesar 0,226mm. ditunjukkan dalam gambar berikut.



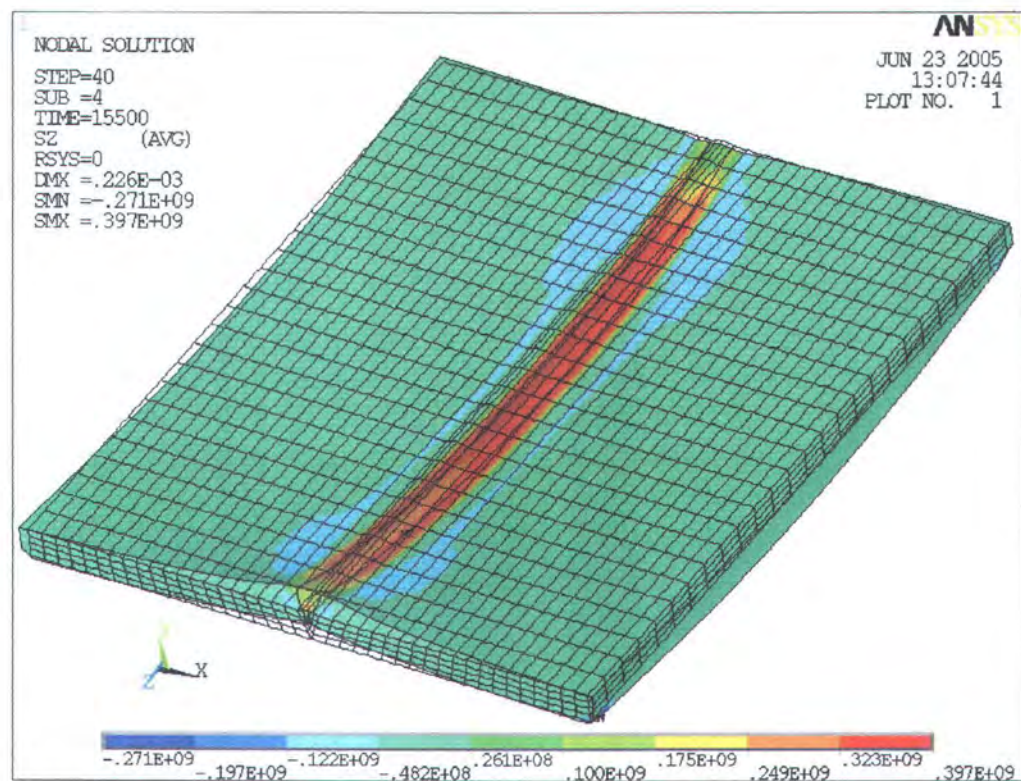
Gambar 4.3 Distorsi plat pada pengelasan variasi I

Sedangkan tegangan sisa yang dihasilkan dari pemodelan variasi I berupa tegangan transversal sebesar  $0,152 \times 10^9 / -0,269 \times 10^9$  Pa, dan tegangan sisa longitudinal sebesar  $0,397 \times 10^9 / -0,271 \times 10^9$  Pa. Konsentrasi tegangannya ditunjukkan dalam gambar berikut.





Gambar 4.4 Distribusi tegangan sisa transversal dalam material akibat pengelasan variasi I



Gambar 4.5 Distribusi tegangan sisa longitudinal dalam material akibat pengelasan variasi I



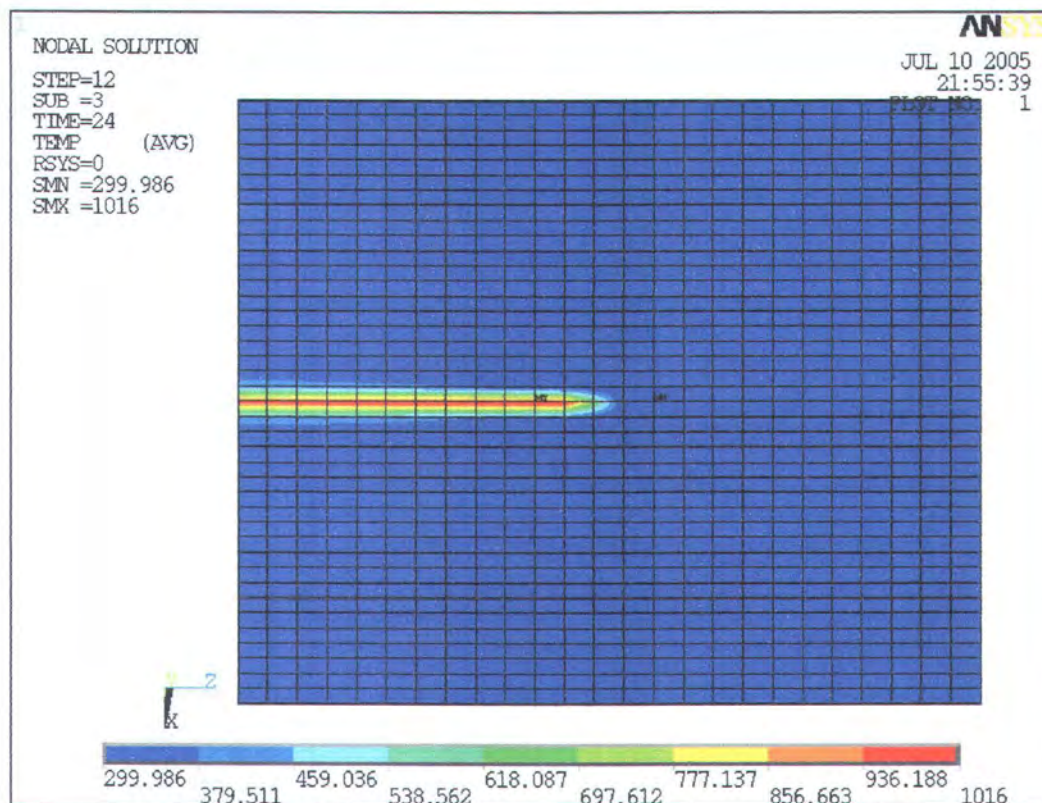
### 4.3.2 Hasil Pemodelan Variasi II

Variasi ini memodelkan pengelasan SAW butt-joint dengan 2 kali pass searah sumbu Z+ dengan parameter heat input sebagai berikut:

Tabel 4.2 Parameter Heat Input pada variasi II

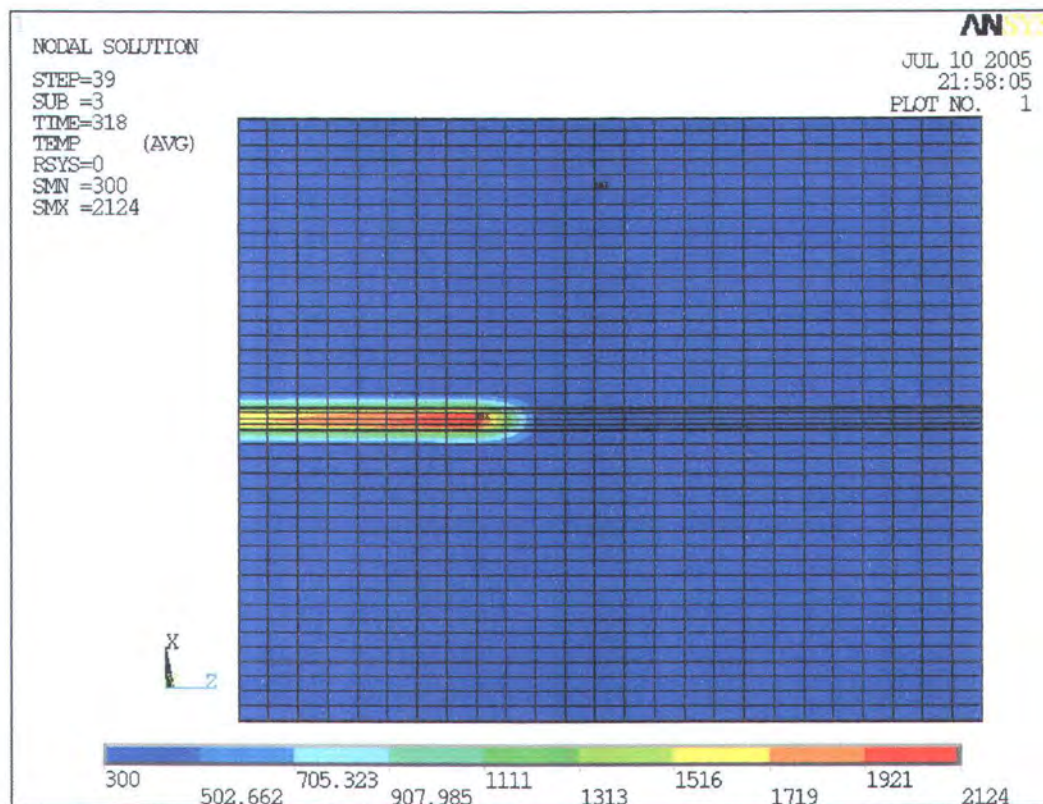
	Variasi II	
Jumlah Pass	2	
Urutan Las	1	2
Arus (Ampere)	700	950
Tegangan (Volt)	35	36
Kecepatan Las	30 inc/mnt	30 inc/mnt
Efisiensi	99%	95%
Beban Heat Flux/element	98,1E6 W/m2	102,6E6 W/m2
Kecepatan/element	2 det/e	2 det/e

Pengelasan Variasi II menghasilkan distribusi panas seperti gambar dibawah ini;



Gambar 4.6 Pola sebaran panas *pass* pertama pada pengelasan variasi II

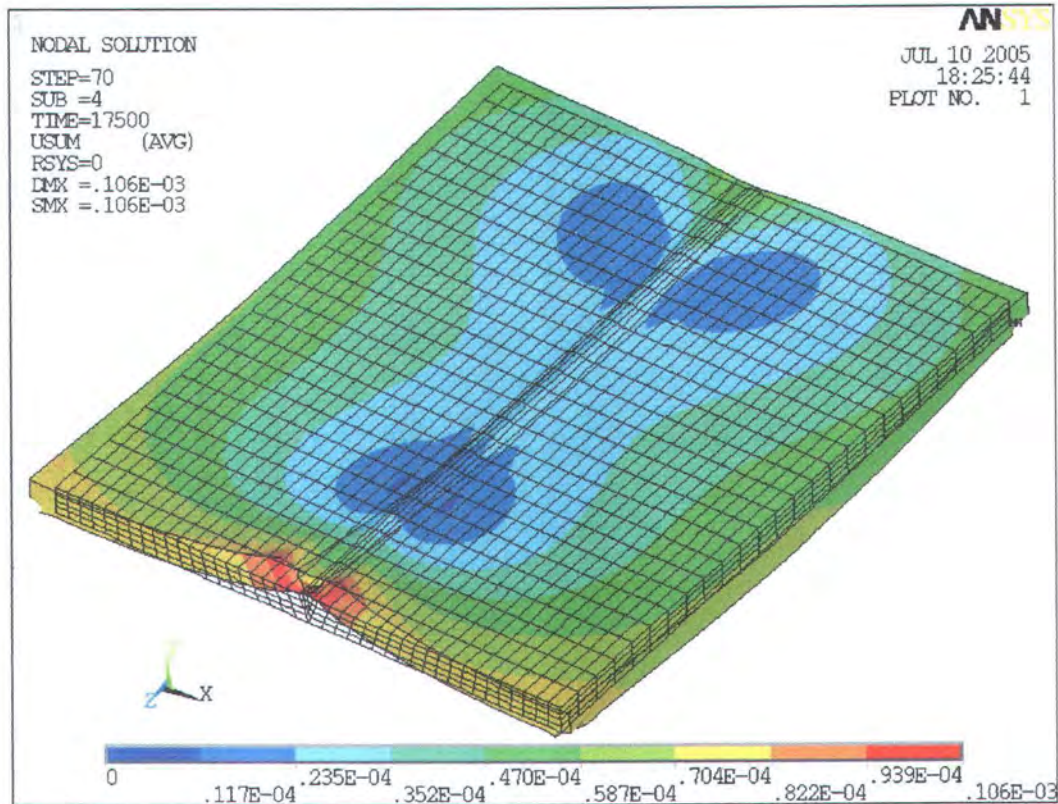




Gambar 4.7 Pola sebaran panas *pass* kedua pada pengelasan variasi II

Temperatur pada proses ini terdistribusi dalam rentang  $299,986^{\circ}\text{K}$  –  $2124^{\circ}\text{K}$ . Temperatur tertinggi berada pada *pass* ke-2. Pengelasan *pass* ke-1 ditampilkan dari sisi bawah plat untuk melihat dengan jelas pola sebaran panasnya. Dalam kasus ini, pengelasan ke-2 dilakukan setelah plat layak dilas berada dalam *interpass temperature* yaitu pada kisaran temperatur  $473^{\circ}\text{K}$ . Gambar 4.6 diatas adalah plot temperatur pengelasan pada step ke-12 (detik ke-24) dimana busur las berada tepat pada bagian tengah material dalam pengelasan pertama sedangkan gambar 4.7 adalah pengelasan kedua pada step ke-39 (detik ke-318).

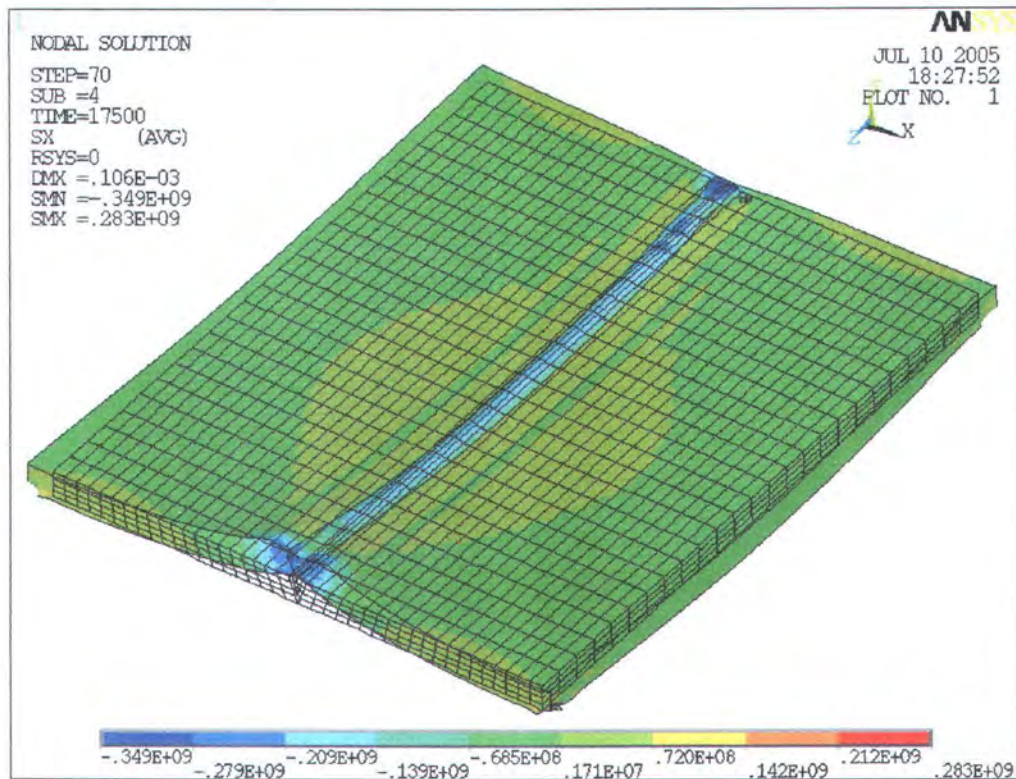
Untuk pemodelan strukturalnya menghasilkan distorsi bending sebesar  $0,106\text{mm}$ . ditunjukkan dalam gambar dibawah ini;.



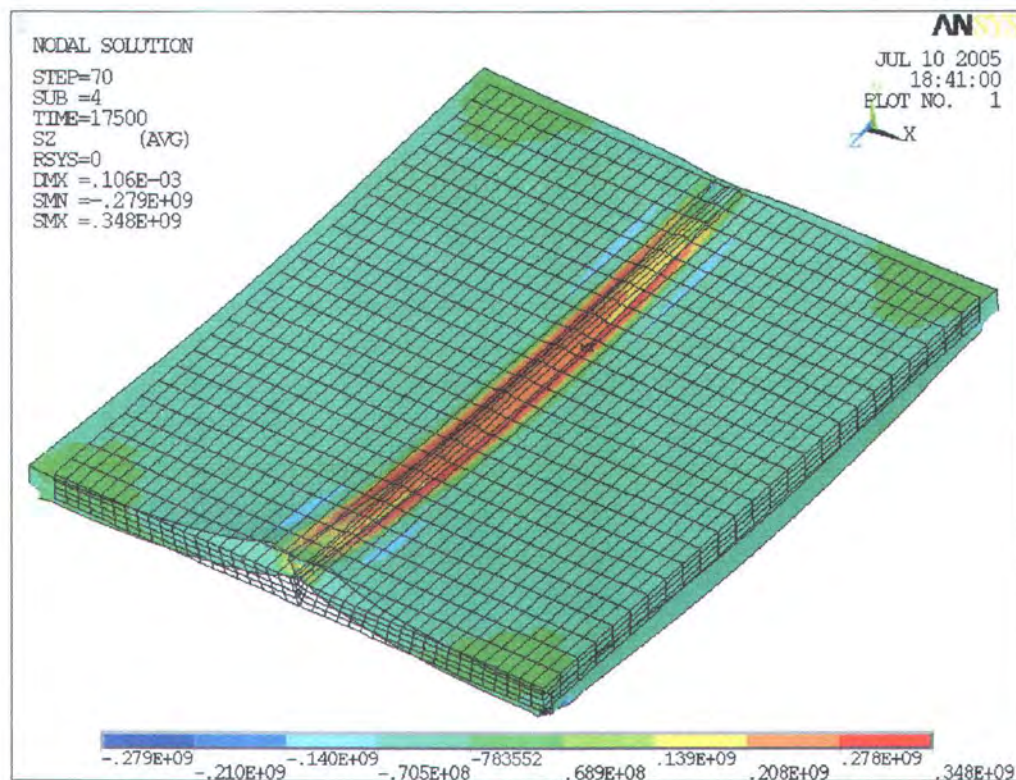
Gambar 4.8 Distorsi plat pada pengelasan variasi II

Sedangkan tegangan sisa yang dihasilkan dari pemodelan variasi II berupa tegangan sisa transversal sebesar  $0,283 \times 10^9$  /  $-0,349 \times 10^9$  Pa dan tegangan sisa longitudinal sebesar  $0,348 \times 10^9$  /  $-0,279 \times 10^9$  Pa. Konsentrasi tegangannya ditunjukkan dalam gambar berikut.





Gambar 4.9 Distribusi tegangan sisa transversal dalam material akibat pengelasan variasi II



Gambar 4.10 Distribusi tegangan sisa longitudinal dalam material akibat pengelasan variasi II



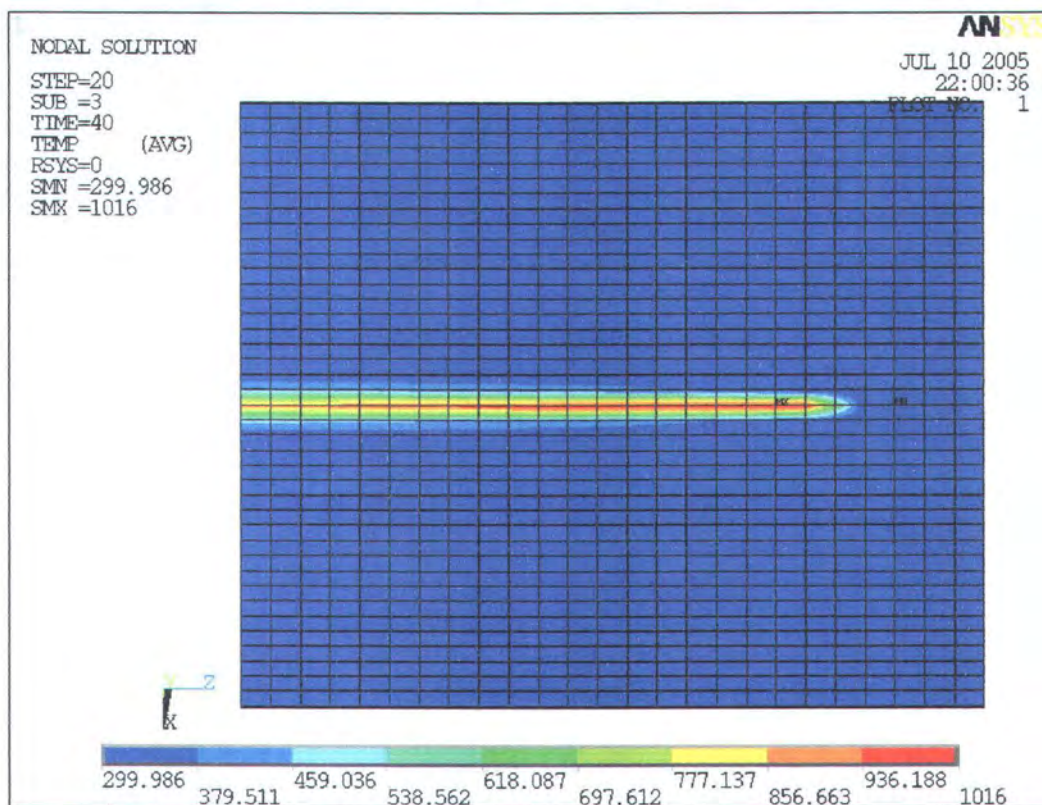
### 4.3.3 Hasil Pemodelan Variasi III

Variasi ini memodelkan pengelasan SAW butt-joint dengan 2 kali pass, yang pertama searah sumbu Z+ kemudian pengelasan pass kedua berlawanan arah dengan pass pertama (Z-) dengan parameter heat input sebagai berikut:

Tabel 4.3 Parameter Heat Input pada variasi III

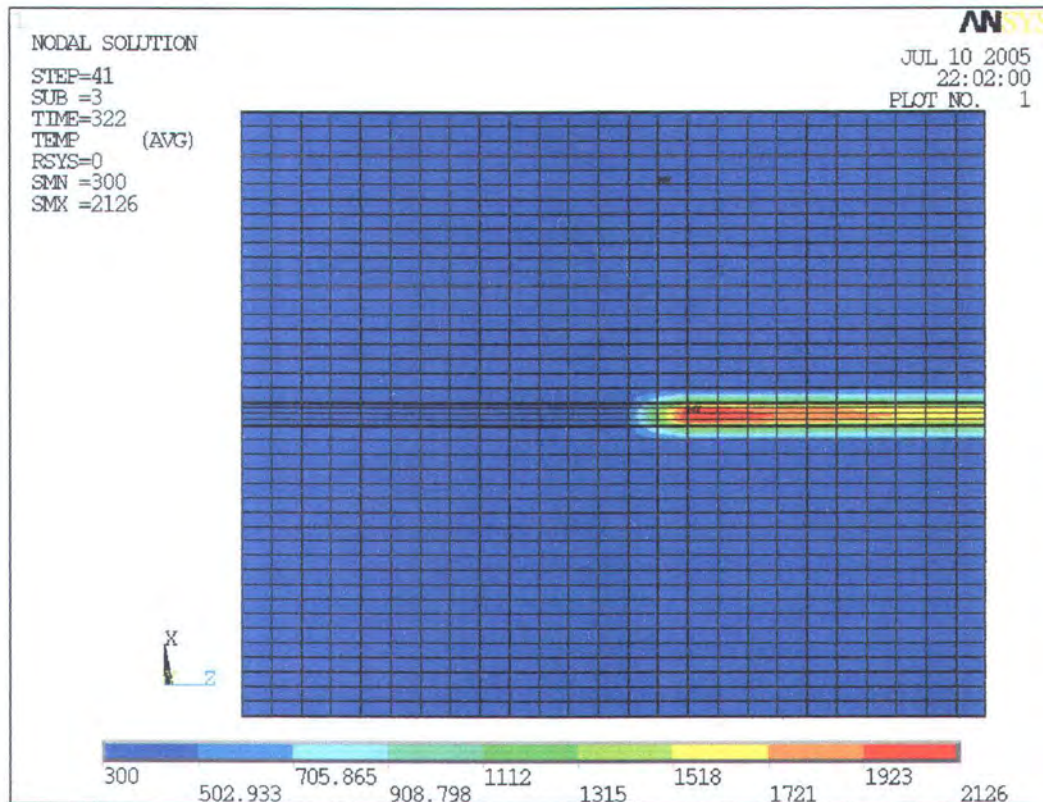
	Variasi III	
Jumlah Pass	2	
Urutan Las	1	2
Arus (Ampere)	700	950
Tegangan (Volt)	35	36
Kecepatan Las	30 inc/mnt	30 inc/mnt
Efisiensi	99%	95%
Beban Heat Flux/element	98,1E6 W/m2	102,6E6 W/m2
Kecepatan/element	2 det/e	2 det/e

Pengelasan Variasi III menghasilkan distribusi panas seperti gambar dibawah ini;



Gambar 4.11 Pola sebaran panas *pass* pertama pada pengelasan variasi III

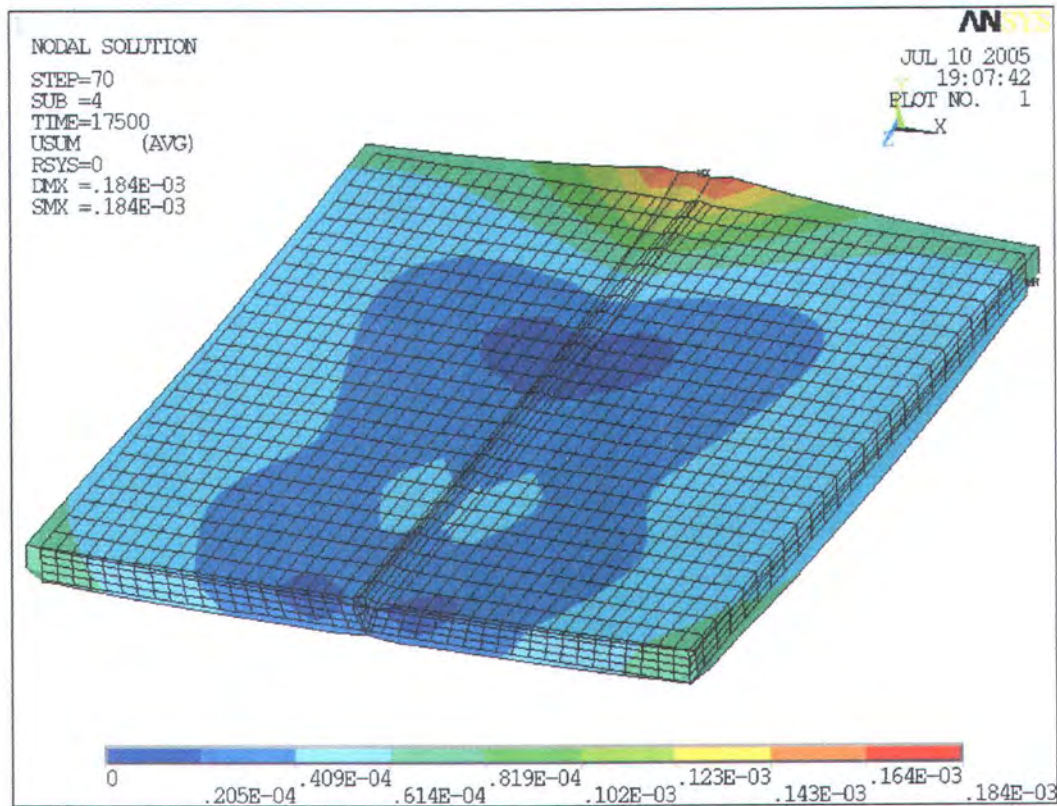




Gambar 4.12 Pola sebaran panas *pass* kedua pada pengelasan variasi III

Temperatur pada proses ini terdistribusi dalam rentang yang sama dengan distribusi pada variasi II yaitu  $299,986^{\circ}\text{K}$  –  $2126^{\circ}\text{K}$ . Temperatur tertinggi berada pada *pass* ke-2. Pengelasan *pass* ke-1 ditampilkan dari sisi bawah plat untuk melihat detail pola sebaran panasnya. Dalam kasus ini, sama seperti variasi II yaitu pengelasan ke-2 dilakukan setelah plat layak dilas berada dalam *interpass temperature* yaitu pada kisaran  $473^{\circ}\text{K}$ . Gambar 4.11 diatas adalah plot temperatur pengelasan pada step ke-20 (detik ke-40) pada pengelasan pertama sedangkan gambar 4.12 adalah pengelasan kedua pada step ke-41 (detik ke-322).

Untuk pemodelan strukturalnya menghasilkan distorsi bending sebesar 0,184mm. ditunjukkan dalam gambar berikut,.

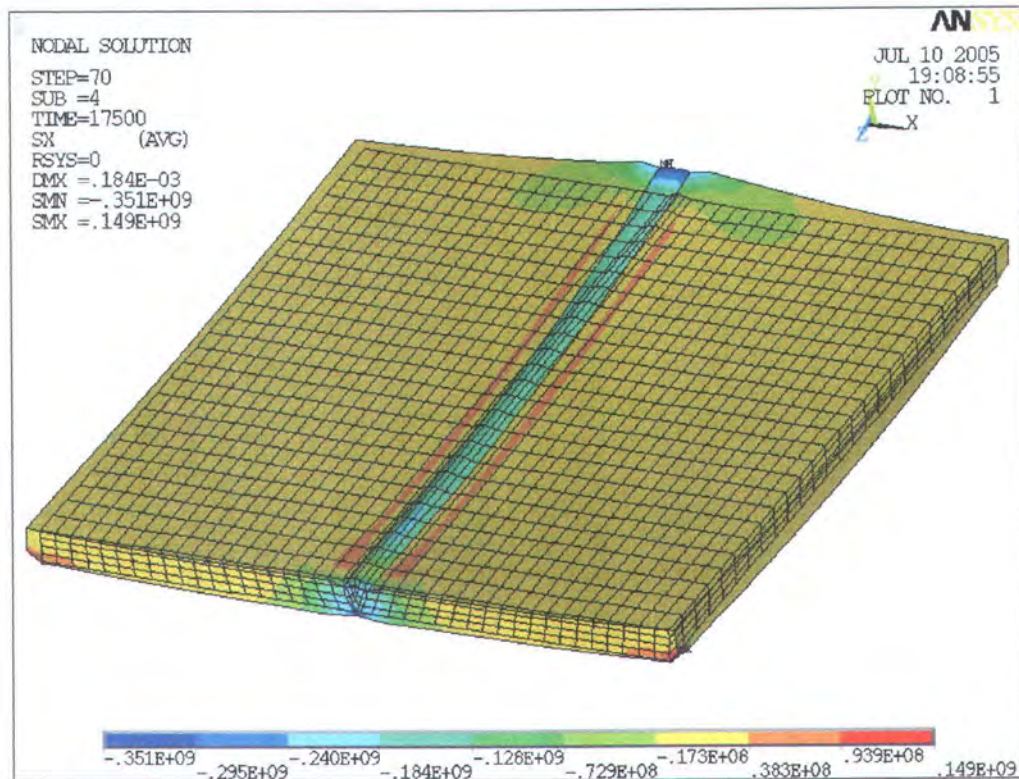


Gambar 4.13 Distorsi plat pada pengelasan variasi III

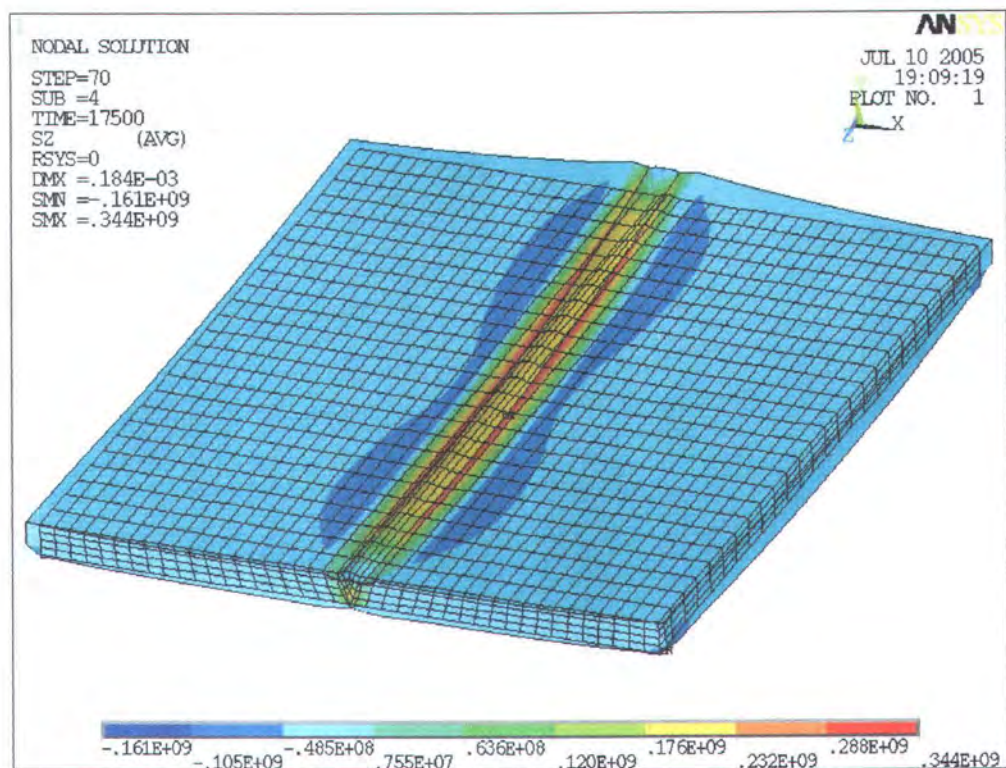
Sedangkan tegangan sisa yang dihasilkan dari pemodelan variasi III berupa tegangan sisa transversal sebesar  $0,149 \times 10^9$  /  $-0,351 \times 10^9$  Pa, dan tegangan sisa longitudinal sebesar  $0,344 \times 10^9$  /  $-0,161 \times 10^9$  Pa. Konsentrasi tegangannya ditunjukkan dalam gambar berikut.







Gambar 4.14 Distribusi tegangan sisa transversal dalam material akibat pengelasan variasi III



Gambar 4.15 Distribusi tegangan sisa longitudinal dalam material akibat pengelasan variasi III



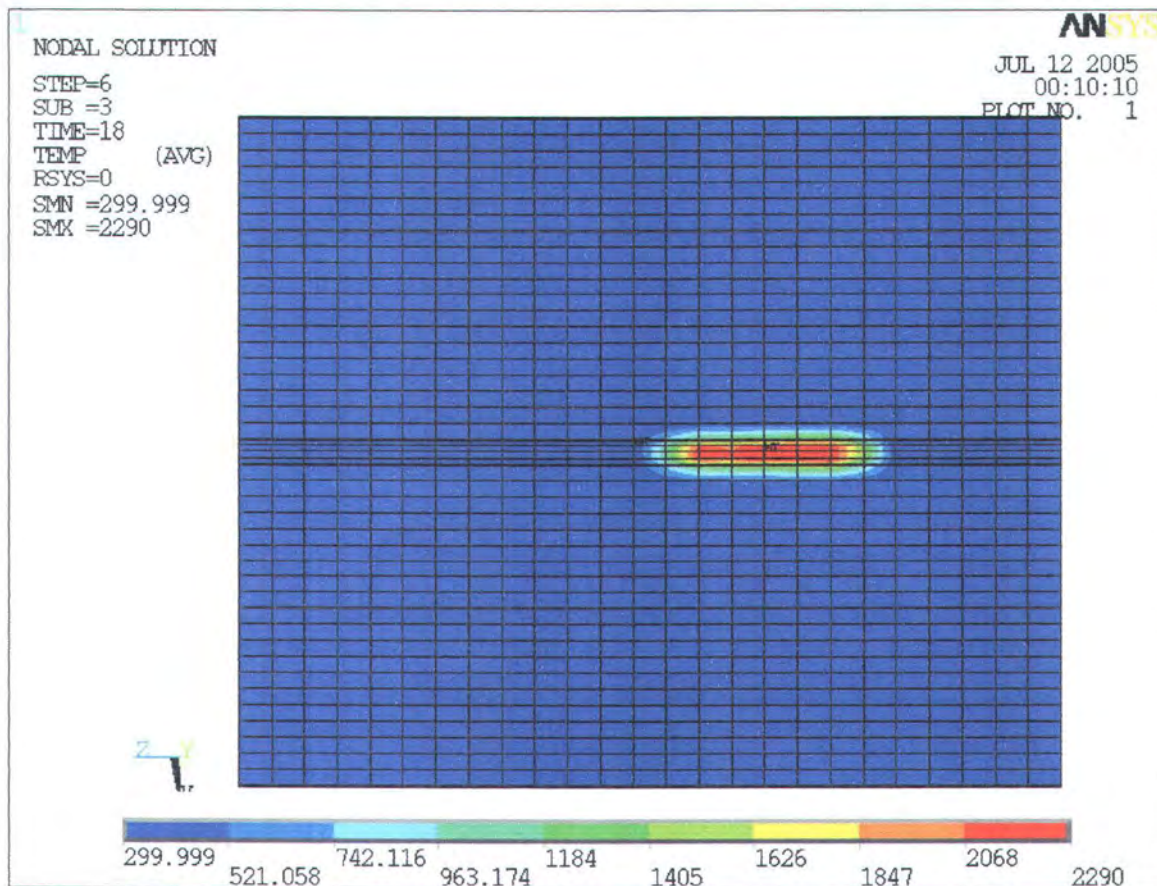
#### 4.3.4 Hasil Pemodelan Variasi IV

Variasi ini memodelkan pengelasan SAW butt-joint dengan 2 kali pass, yang pertama dimulai dari bagian tengah plat ke arah sumbu Z- kemudian pengelasan pass kedua dilakukan dari titik awal pengelasan pertama ke arah sumbu Z+ dengan parameter heat input sebagai berikut:

Tabel 4.4 Parameter Heat Input pada variasi IV

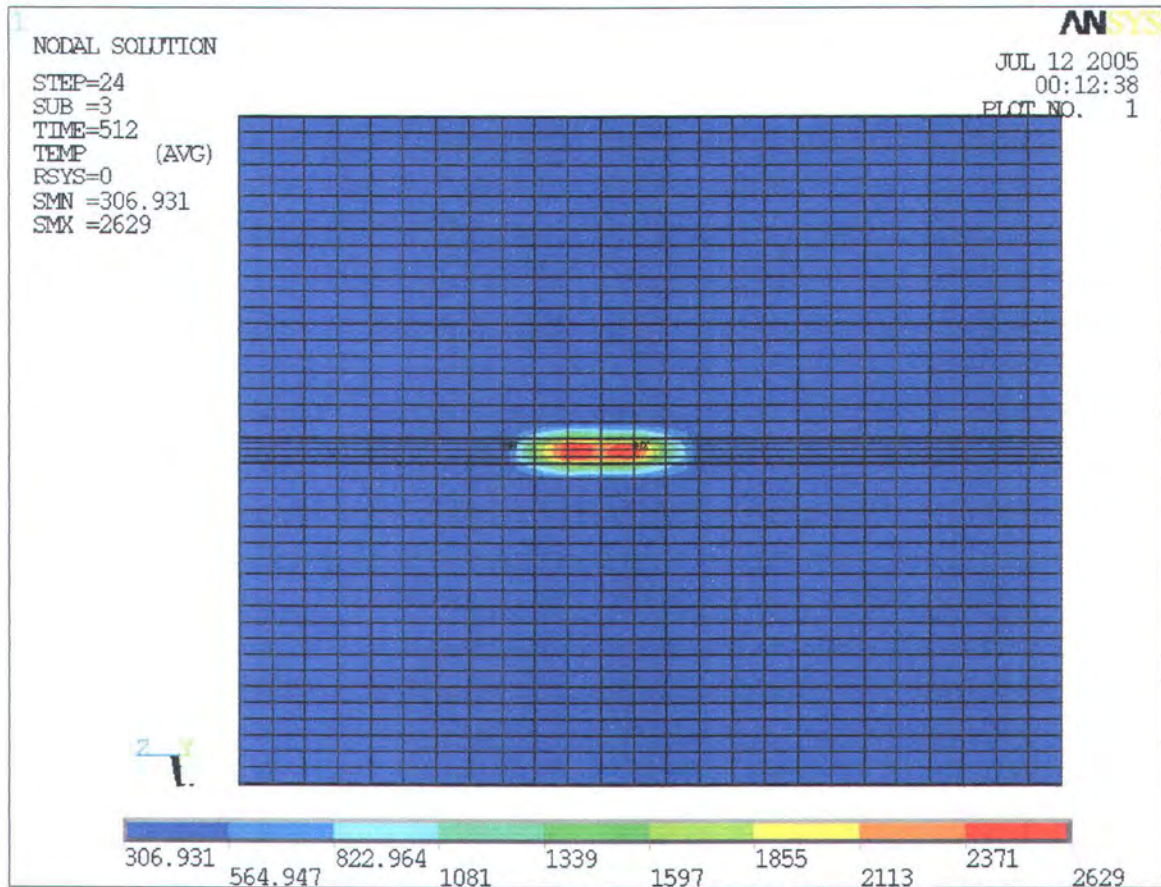
	Variasi IV	
Jumlah Pas	2	
Urutan Las	1	2
Arus (Ampere)	1000	1000
Tegangan (Volt)	35	35
Kecepatan Las	12 inc/mnt	12 inc/mnt
Efisiensi	90%	90%
Beban Heat Flux/element	313,2E6 W/m2	313,2E6 W/m2
Kecepatan/element	4 det/e	4 det/e

Pengelasan Variasi IV menghasilkan distribusi panas seperti gambar dibawah ini;



Gambar 4.16 Pola sebaran panas *pass* pertama pada pengelasan variasi IV

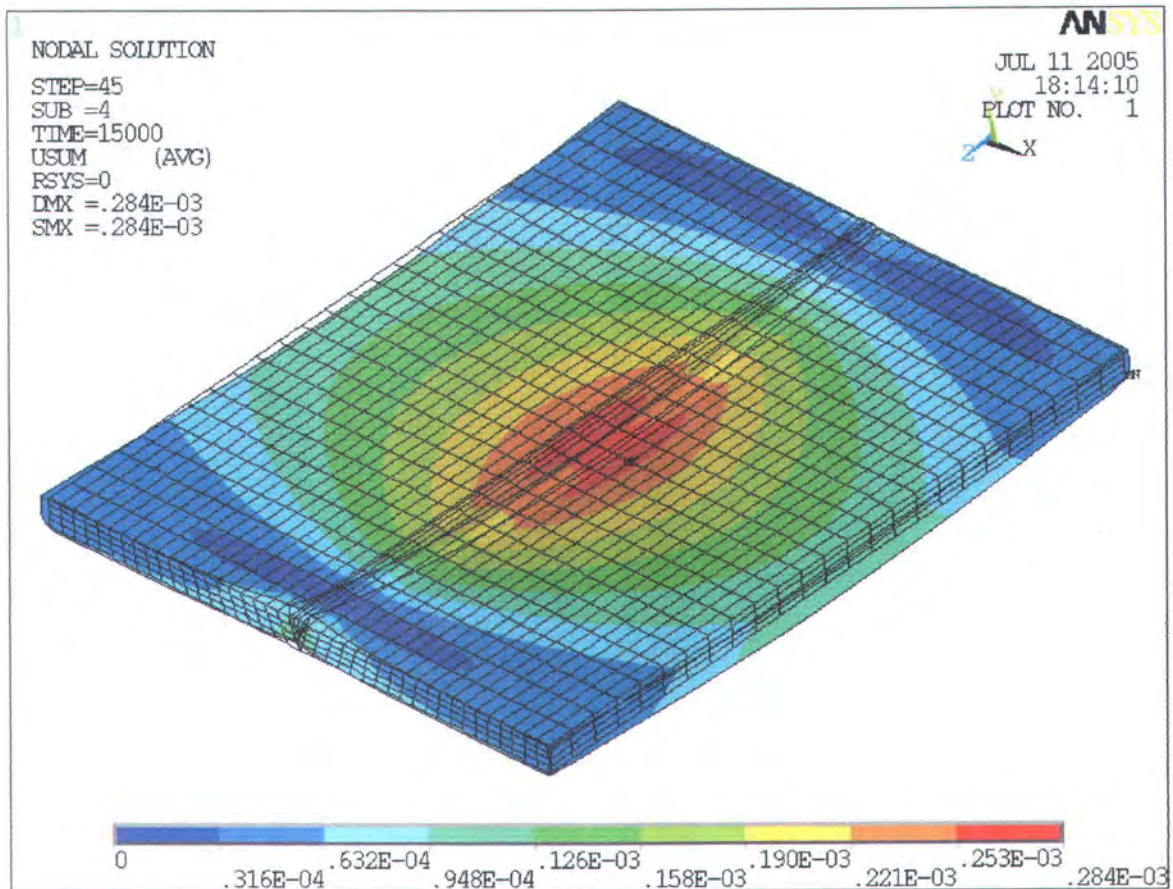




Gambar 4.17 Pola sebaran panas *pass* kedua pada pengelasan variasi IV

Temperatur pada proses ini terdistribusi dalam rentang  $299,999^{\circ}\text{K}$  –  $2629^{\circ}\text{K}$ . Temperatur tertinggi berada pada *pass* ke-2. Metodenya tetap sama seperti variasi II yaitu pengelasan ke-2 dilakukan setelah plat layak dilas berada dalam *interpass temperature*. Gambar 4.16 diatas adalah plot temperatur pengelasan pada step ke-6 (detik ke-18) pada pengelasan pertama sedangkan gambar 4.17 adalah pengelasan kedua pada step ke-24 (detik ke-512).

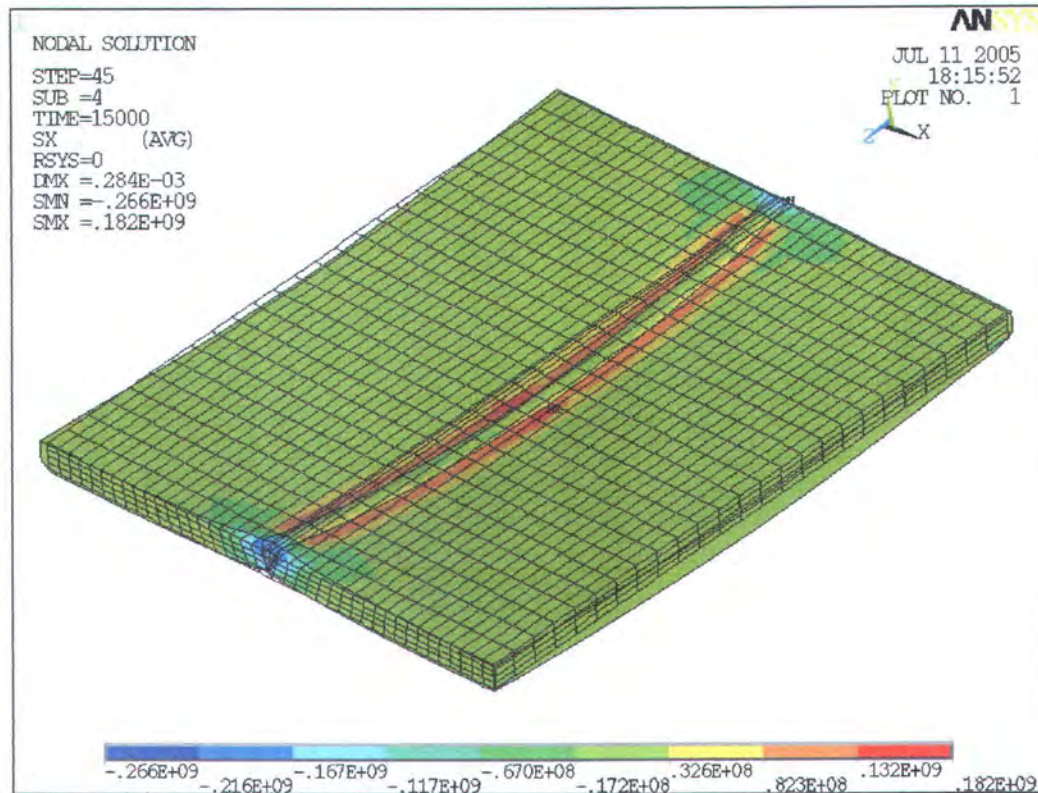
Untuk pemodelan strukturalnya menghasilkan distorsi bending sebesar 0,284mm. ditunjukkan dalam gambar berikut;



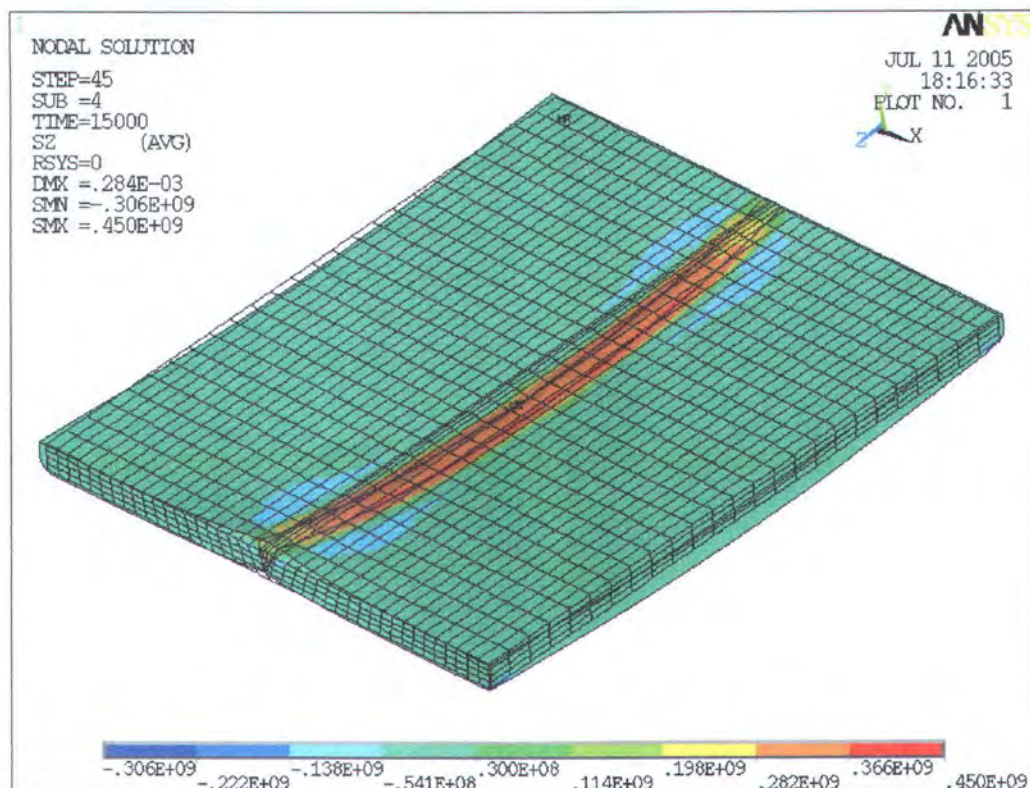
Gambar 4.18 Distorsi plat pada pengelasan variasi IV

Sedangkan tegangan sisa yang dihasilkan dari pemodelan variasi IV berupa tegangan sisa transversal sebesar  $0,182 \times 10^9$  /  $-0,266 \times 10^9$  Pa, dan tegangan sisa longitudinal sebesar  $0,450 \times 10^9$  /  $-0,306 \times 10^9$  Pa. Konsentrasi tegangannya ditunjukkan dalam gambar berikut.





Gambar 4.19 Distribusi tegangan sisa transversal dalam material akibat pengelasan variasi IV



Gambar 4.20 Distribusi tegangan sisa longitudinal dalam material akibat pengelasan variasi IV



#### 4.4 Validasi

Tujuan akhir dalam tugas akhir ini adalah mengetahui distribusi temperatur, besarnya tegangan sisa transversal maupun longitudinal dan distorsi yang terjadi dalam pengelasan plat *butt-joint*. Oleh karena itu, berbagai validasi akan dilakukan untuk memastikan apakah penelitian dalam tugas akhir ini telah mencapai tujuan yang diharapkan. Validasi yang akan dilakukan antara lain;

1. Uji kesesuaian elemen yang digunakan dari ANSYS Documentation, untuk mengetahui apakah 2 jenis elemen yang digunakan dalam pemodelan dapat di-*couple* (digabungkan).
2. Perbandingan pola kontur distribusi panas pada plat pejal dengan teori sebaran panas Masubuchi (1980) dan hasil penelitian Artem Pilipenko (Trondheim University, 2001).
3. Perbandingan distribusi panas fungsi waktu hasil pemodelan dengan penelitian Pilipenko.
4. Grafik distribusi tegangan sisa dari hasil pemodelan dengan penelitian Pilipenko.
5. Grafik distorsi pengelasan dari hasil pemodelan dengan penelitian Pilipenko.

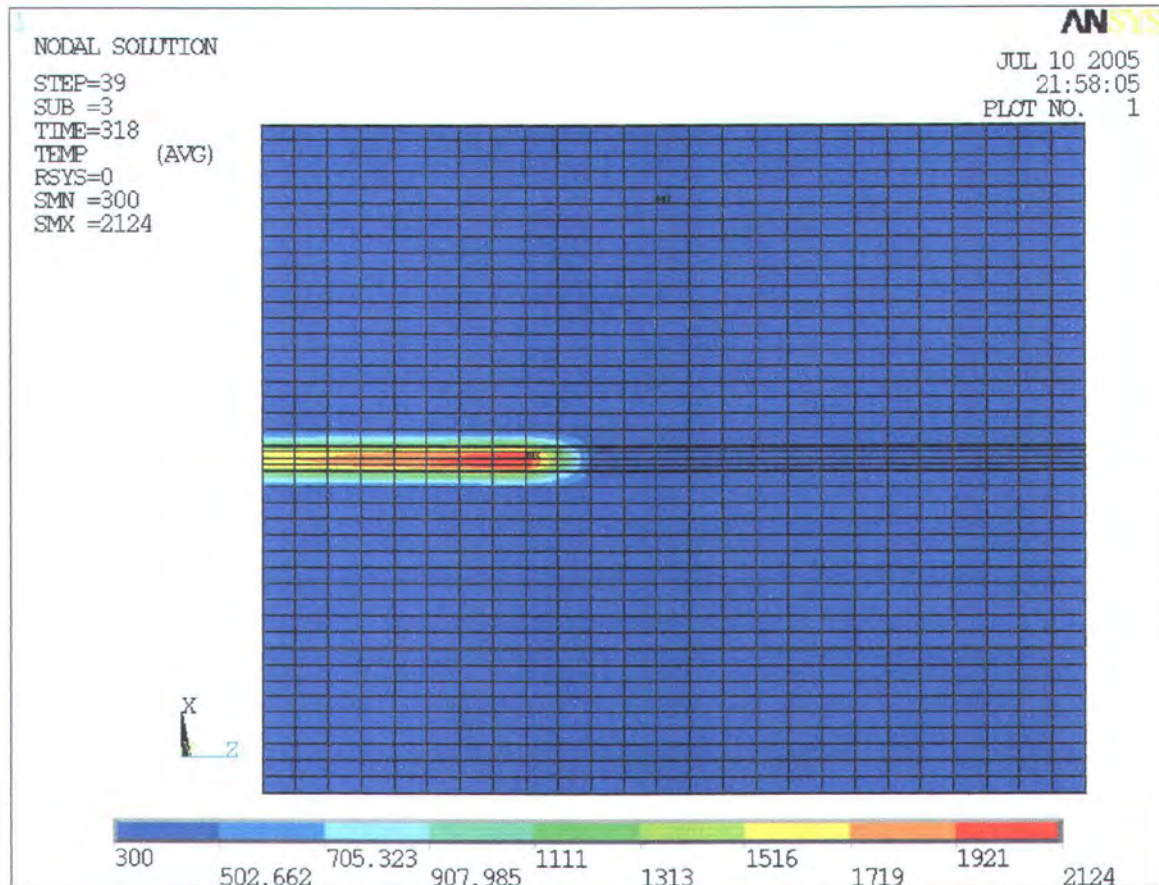
##### 4.4.1 Validasi elemen

Untuk mengetahui kesesuaian type elemen yang dapat digabungkan, maka penulis melakukan pengujian beberapa elemen *couple analysis* yang terdapat dalam fasilitas ANSYS, ternyata diketahui bahwa type elemen yang dapat mengakomodasi solusi pemodelan *solid thermal-structural* dalam kasus pengelasan adalah solid 70 (*thermal*) dan solid 45 (*structural couple*) karena type elemen ini dapat memiliki kemampuan untuk memodifikasi output dari pemodelan sebelumnya. Detail fasilitas elemen dan DOF (*Degree of Freedom*) penunjangnya akan diberikan pada lampiran A.

##### 4.4.2 Kontur Distribusi Panas

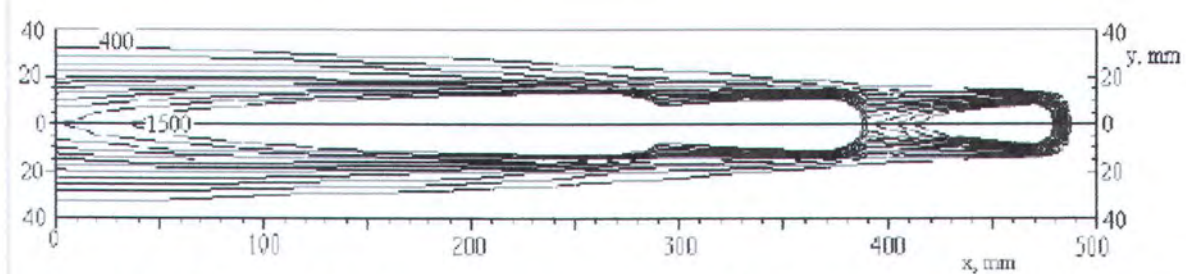
Untuk memastikan kebenaran distribusi panas pemodelan maka diambil salah satu model dalam tugas akhir yang mendekati penelitian sebelumnya yaitu penelitian Pilipenko dan juga dibandingkan dengan sebaran panas dalam teori Masubuchi (gambar 2.1). Dalam hal ini, pengelasan variasi I yang paling mendekati percobaan Pilipenko.





Gambar 4.21 Pola sebaran panas pengelasan *single electrode* SAW (ANSYS Plot)

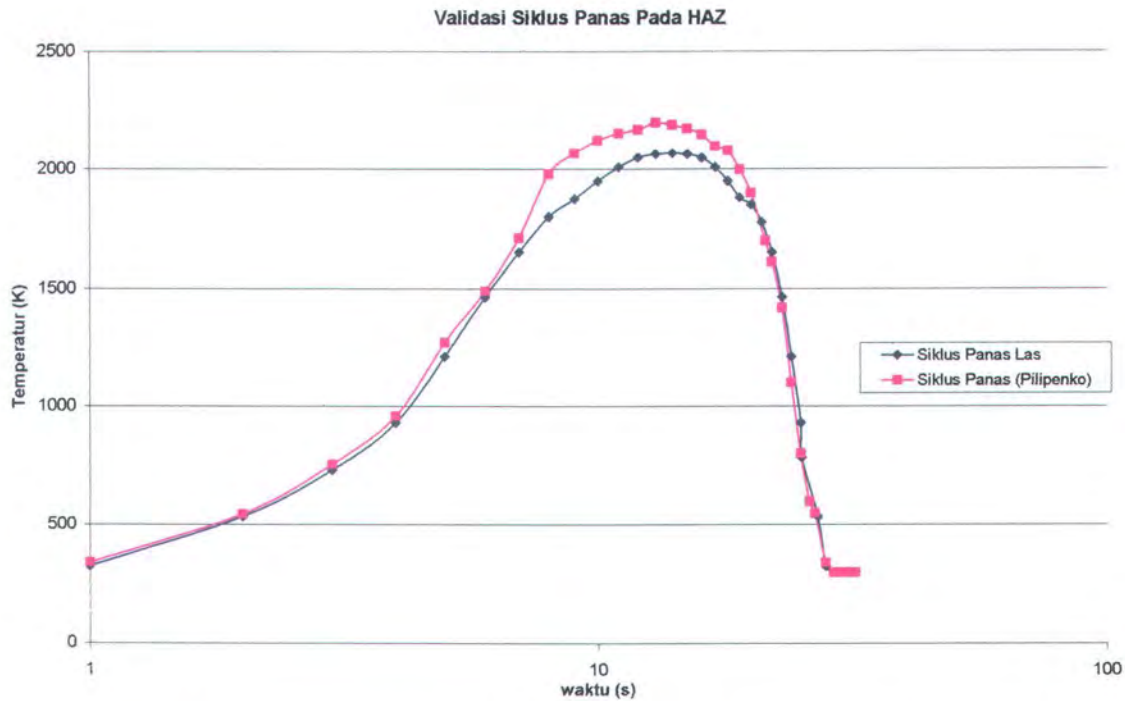
Gambar diatas telah mendekati pola kontur panas percobaan Pilipenko dibawah ini;



Gambar 4.22 Kontur distribusi temperatur penelitian Pilipenko (Pilipenko, 2001)

#### 4.4.3 Grafik Siklus Panas

Untuk mengetahui ketepatan distribusi panas yang terjadi dalam material selama pengelasan terjadi hingga pelat mengalami pendinginan, maka hasil distribusi panas fungsi waktu hasil pemodelan dengan ANSYS akan dibandingkan dengan percobaan Pilipenko yang direpresentasikan sebagai berikut;



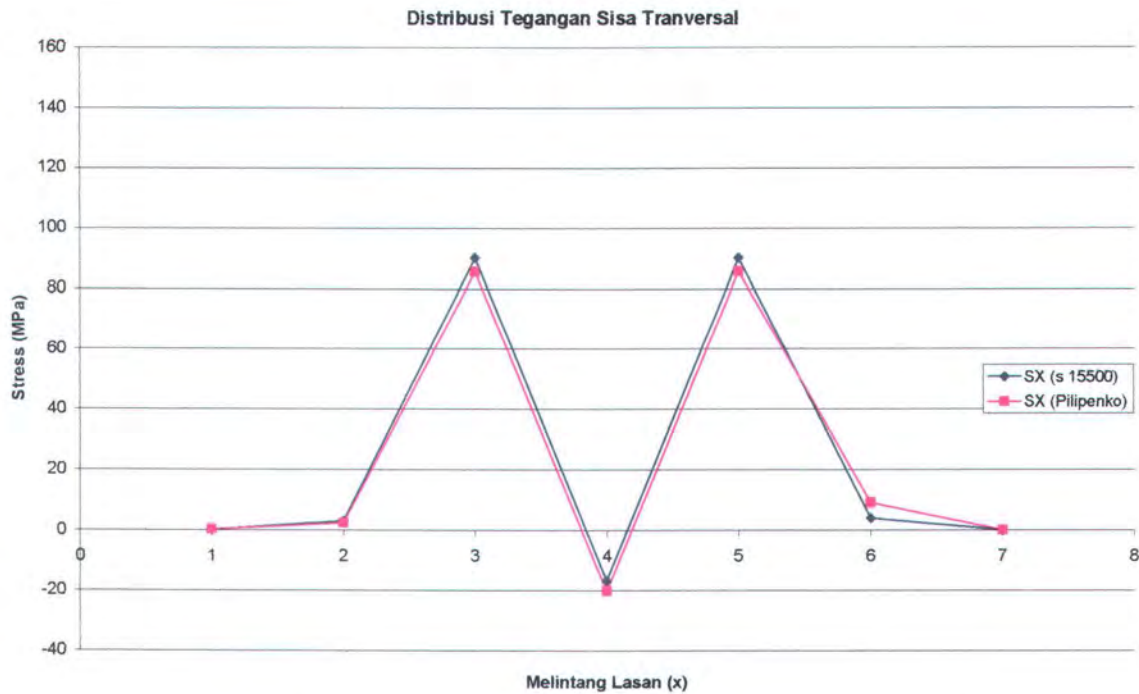
Gambar 4.23 Grafik validasi siklus panas fungsi waktu pada pengelasan SAW

Grafik pada gambar 4.23 adalah siklus panas pada 1 node yang berada pada HAZ yaitu temperatur yang berubah terhadap waktu.

#### 4.4.4 Grafik Distribusi Tegangan Sisa

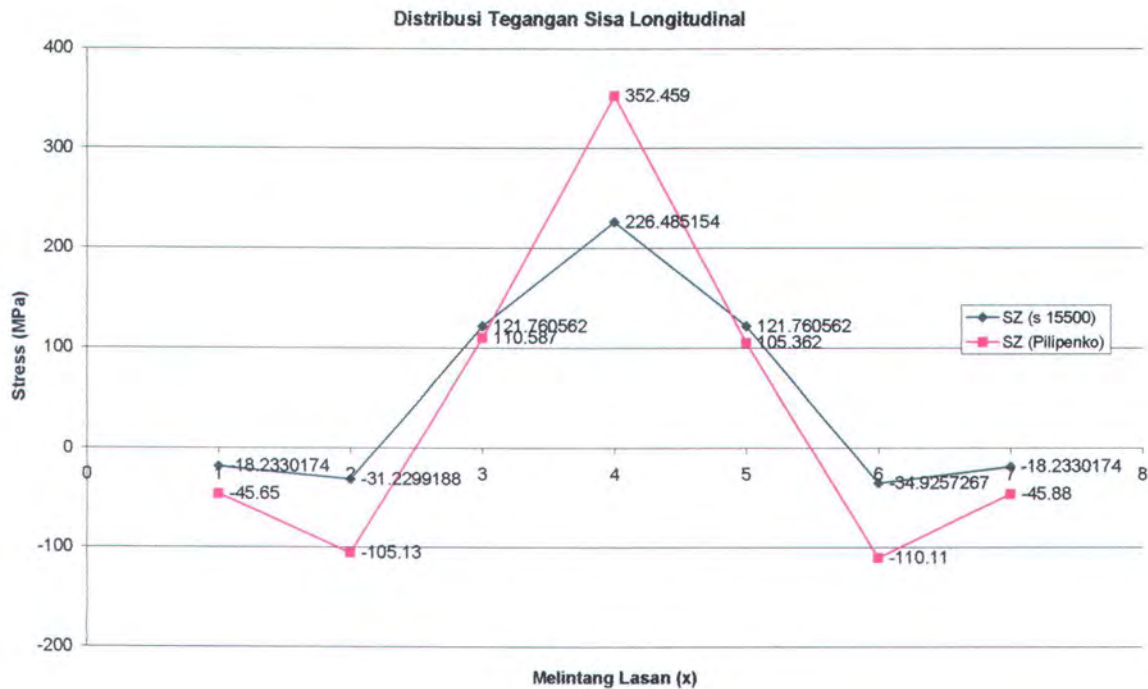
Tegangan sisa yang akan ditinjau adalah tegangan sisa transversal dan longitudinal, distribusi tegangan sisa ini akan diambil pada node-node pada jalur melintang arah lasan sesuai dengan plot grafik yang dilakukan oleh Pilipenko.





Gambar 4.24 Grafik validasi distribusi tegangan sisa transversal

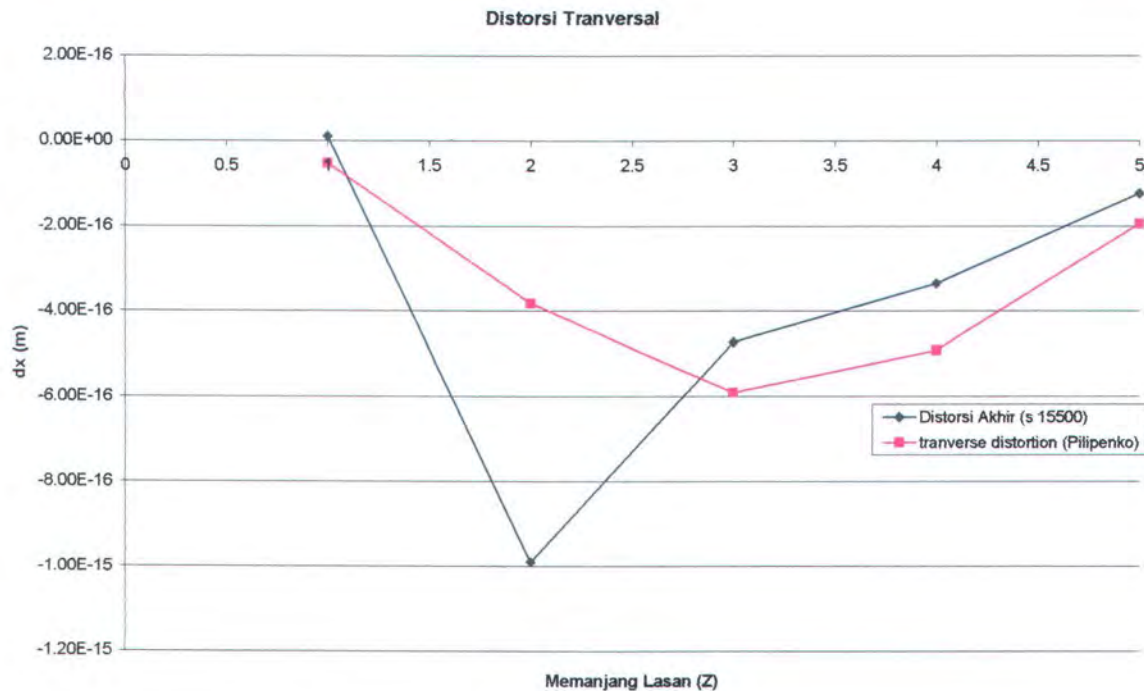
Pengambilan titik-titik adalah tepat pada lokasi tengah pelat, yaitu perpotongan melintang sambungan las. Titik-titik yang diambil (diplot) untuk mengetahui distribusi tegangan sisa longitudinalnya juga sama dengan titik yang diambil untuk plot tegangan sisa transversal. Grafik validasi distribusi tegangan sisa longitudinal ditampilkan sebagai berikut;



Gambar 4.25 Grafik validasi distribusi tegangan sisa longitudinal

#### 4.4.5 Grafik Distorsi

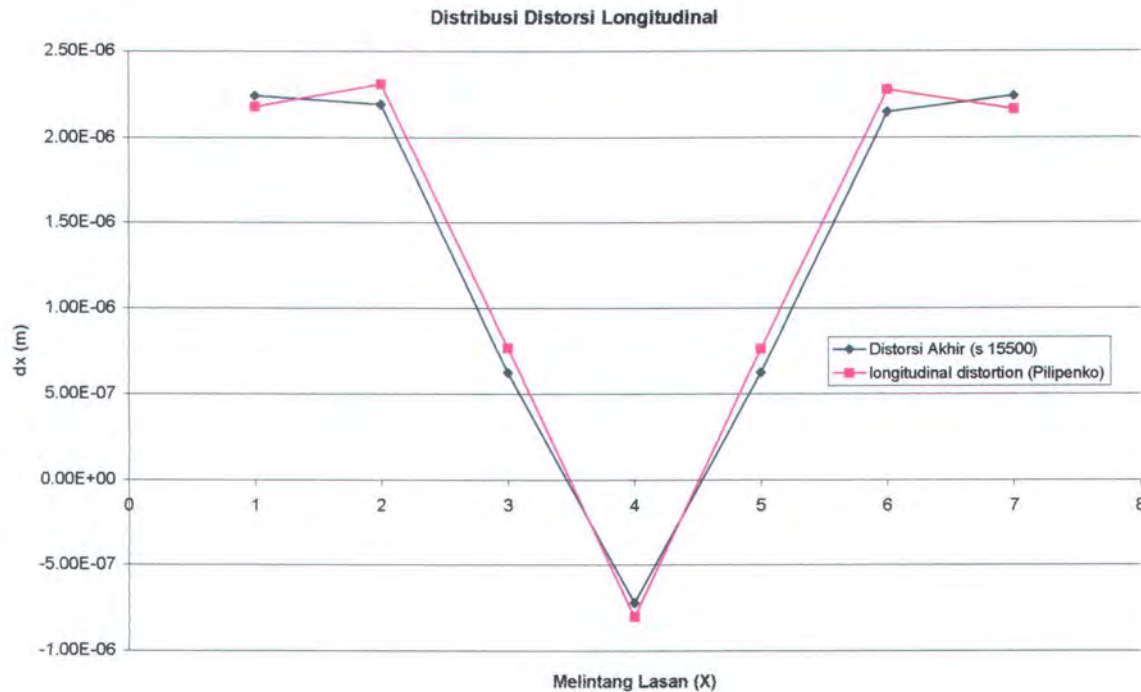
Distorsi pengelasan yang akan ditinjau adalah distorsi transversal dan distorsi longitudinal. Untuk mengetahui besarnya distorsi transversal, akan diambil *displacement* dalam node-node yang ada disepanjang *weldpath* sesuai dengan plot grafik yang dilakukan oleh Pilipenko. Sedangkan untuk distorsi longitudinalnya, akan diambil besaran *displacement* dalam node-node pada jalur melintang arah lasan.



Gambar 4.26 Grafik validasi distorsi transversal arah memanjang lasan

Khusus untuk pengambilan titik-titik yang merepresentasikan distorsi longitudinal, diambil titik-titik ke arah melintang lasan tepat pada tengah sambungan. Hal ini sesuai dengan plot titik yang dilakukan oleh Pilipenko (2001). Hasil distorsi titik-titiknya ditampilkan dalam gambar berikut;





Gambar 4.27 Validasi distorsi longitudinal arah melintang lasan

Setelah melihat keseluruhan *trend* grafik hasil pemodelan yang mendekati kesamaan dengan *trend* grafik percobaan Pilipenko, dapat dikatakan bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini telah mampu mencapai hasil yang diharapkan dan juga mendekati ketepatan seperti yang dilakukan oleh Pilipenko dalam thesis doktoralnya. Perbedaan hasil percobaan dalam tugas akhir ini dibanding penelitian Pilipenko akan ditampilkan pada tabel berikut ini;

Tabel 4.5 Perbedaan nilai dalam percobaan

Nilai Maksimum	Tugas Akhir ini	Penelitian Pilipenko	Prosentase selisih
Distribusi Panas	2071 K	2270 K	8,76 %
Tegangan Sisa Transversal	90 MPa	85 MPa	5,88 %
Tegangan Sisa Longitudinal	226 MPa	352 MPa	35,79 %
Distorsi Transversal	1 mm	0,6 mm	66,67 %
Distorsi Longitudinal	2,25 mm	2,4 mm	6,25 %

Faktor yang menyebabkan perbedaan hasil adalah ;

1. ukuran spesimen yang digunakan berbeda sehingga distorsi pengelasan yang dihasilkan tidak sama.

2. perbedaan input panas mengakibatkan pencapaian temperatur puncak dalam penelitian Pilipenko lebih tinggi daripada temperatur puncak dalam tugas akhir ini.
3. perbedaan asumsi constraint dan penggunaan *symetri boundary condition* dalam pemodelan menyebabkan distorsi yang berbeda kearah transversal dan longitudinal.
4. WPS (Welding Procedure and Specification) yang berbeda yaitu metode single electrode dan multi electrode mengakibatkan tegangan sisa longitudinal yang lebih besar.

Tabel 4.6 Perbedaan mendasar dalam penelitian

	<b>Tugas Akhir ini</b>	<b>Percobaan Pilipenko</b>
Elektroda Las	single	Multi pass, Multi elektroda
Pemodelan	Struktur penuh	Separuh, symetri B.C
Solusi	Sequential method	Full / direct method
Teknik pendekatan	All active element	Dynamic birth & death element

Detail grafik percobaan dari keseluruhan variasi pengelasan akan ditampilkan dalam lampiran B.

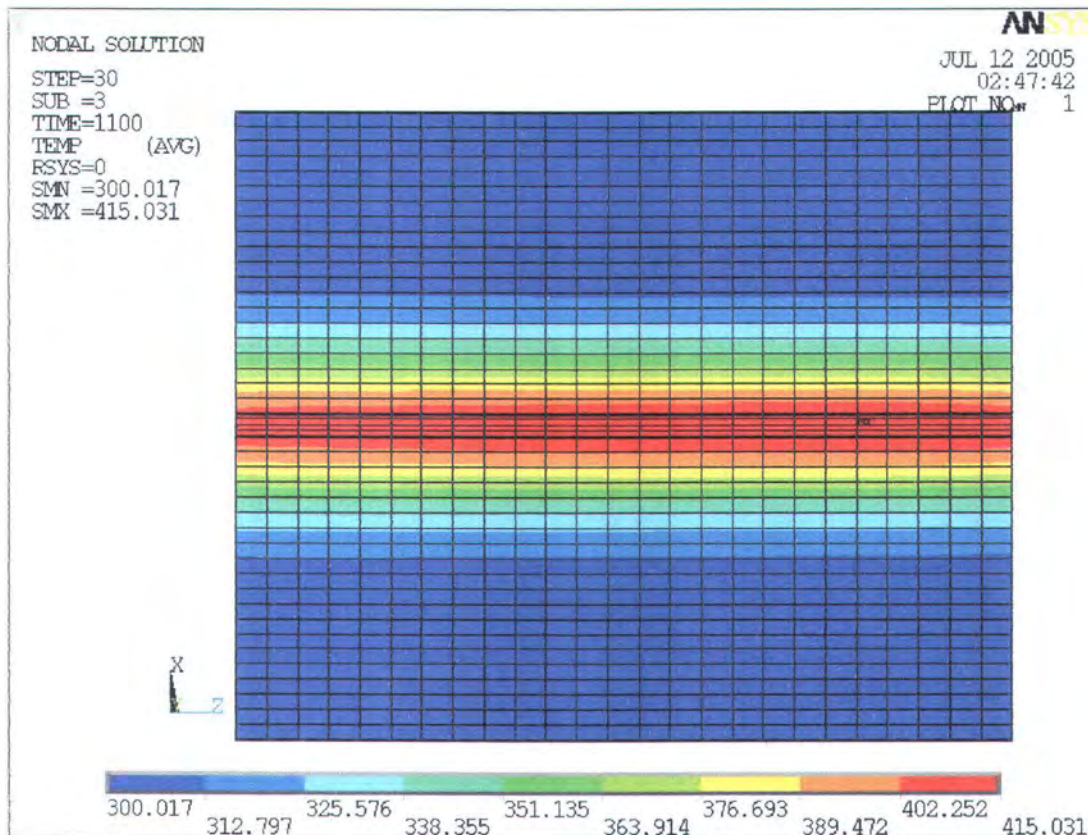
## 4.5 Pembahasan

### 4.5.1 Distribusi Panas

Panas dalam pengelasan terdistribusi secara tidak merata diseluruh material, dengan melihat kontur distribusi panas pada gambar 4.21 dapat kita ketahui bahwa areal yang dikenai lasan dan daerah yang berdekatan dengan jalur las mengalami distribusi panas yang lebih besar daripada daerah yang tidak dikenai las.

Selama proses pengelasan dilakukan, panas belum menjalar keseluruh bagian material. Panas akan menjalar secara konduksi keseluruh bagian material pada saat pengelasan selesai dan memasuki fase pendinginan. Hal tersebut dibuktikan pada gambar 4.28 berikut, yaitu pada step ke-30 yaitu detik ke-1100, panas mulai menjalar keseluruh bagian material.





Gambar 4.28 Kontur penjararan panas (K) pada fase pendinginan

Bukti-bukti diperkuat dengan grafik distribusi temperatur pada gambar 4.21 dan 4.22 baik dari pemodelan ANSYS maupun dari pemodelan yang dilakukan Pilipenko. Node-node pada jalur las yang dikenai proses las pada  $t$  tertentu akan mencapai temperatur yang lebih tinggi daripada daerah yang tidak dikenai las. Rentang distribusi panas berada antara  $299,996^{\circ}\text{K}$  hingga  $2504^{\circ}\text{K}$ , temperatur terendah adalah mendekati temperatur kamar sedangkan temperatur tertinggi merupakan temperatur pada titik lebur logam.

#### 4.5.2 Tegangan Sisa

Mengacu pada penelitian Artem Pilipenko, maka tinjauan yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah tegangan sisa transversal dan tegangan sisa longitudinal.

Tegangan sisa transversal yang dihasilkan dari tiap variasi pengelasan umumnya mengalami kesamaan yaitu bagian yang memiliki tegangan tekan besar adalah pada daerah ujung sambungan celah, untuk tegangan tekan, merata terdistribusi diseluruh material, sedangkan tegangan tarik maksimum berada pada daerah disebelah kiri kanan lasan. Karakteristik ini tepat seperti yang terdapat dalam teori distribusi tegangan pada Bab II.



Tegangan sisa longitudinal yang dihasilkan dari tiap variasi pengelasan juga memiliki karakteristik yang sama dengan karakteristik tegangan sisa dalam teori, yaitu tegangan tekan terbesar berada pada areal didekat lasan, sedangkan tegangan tarik terbesar terdistribusi merata tepat disepanjang lasan. Distribusi tegangan pada areal lainnya adalah tegangan tekan merata diseluruh bagian material. Jadi, pemodelan yang dilakukan telah mendekati kebenaran sesuai dengan dasar teoritis.

Tegangan sisa transversal minimum yang terjadi adalah sebesar  $-0,266 \times 10^9$  Pa untuk tegangan tekannya sedangkan tegangan tarik adalah sebesar  $0,149 \times 10^9$  Pa. Tegangan sisa transversal maksimum yang terjadi adalah sebesar  $-0,351 \times 10^9$  Pa untuk tegangan tekannya sedangkan tegangan tariknya adalah sebesar  $0,283 \times 10^9$  Pa.

Tegangan sisa longitudinal minimum yang terjadi adalah sebesar  $-0,161 \times 10^9$  Pa untuk tegangan tekannya sedangkan tegangan tarik adalah sebesar  $0,344 \times 10^9$  Pa. Tegangan sisa longitudinal maksimum yang terjadi adalah sebesar  $-0,306 \times 10^9$  Pa untuk tegangan tekannya sedangkan tegangan tariknya adalah sebesar  $0,450 \times 10^9$  Pa.

Dari hasil pemodelan dapat diketahui bahwa dari pengelasan variasi IV menghasilkan tegangan sisa longitudinal yang paling besar yaitu sebesar 450 Mpa / -306 MPa yang telah melampaui *yield strength*-nya (400Mpa) tetapi masih berada jauh dibawah batas *tensile strength*-nya (585 Mpa), jadi dapat diperkirakan struktur telah melewati batas elastis atau berada dalam kondisi plastis, hal ini berdampak pada kekuatan struktur itu sendiri. Jika tegangan sisa yang terjadi telah melampaui batas *yield strength* maka kemampuan elastis struktur akan semakin kecil untuk menahan beban tambahan yang diberikan kepadanya. Tetapi apabila tegangan yang terjadi masih berada dibawah *tensile strength*, struktur masih mampu menahan beban tambahan yang diberikan kepadanya.

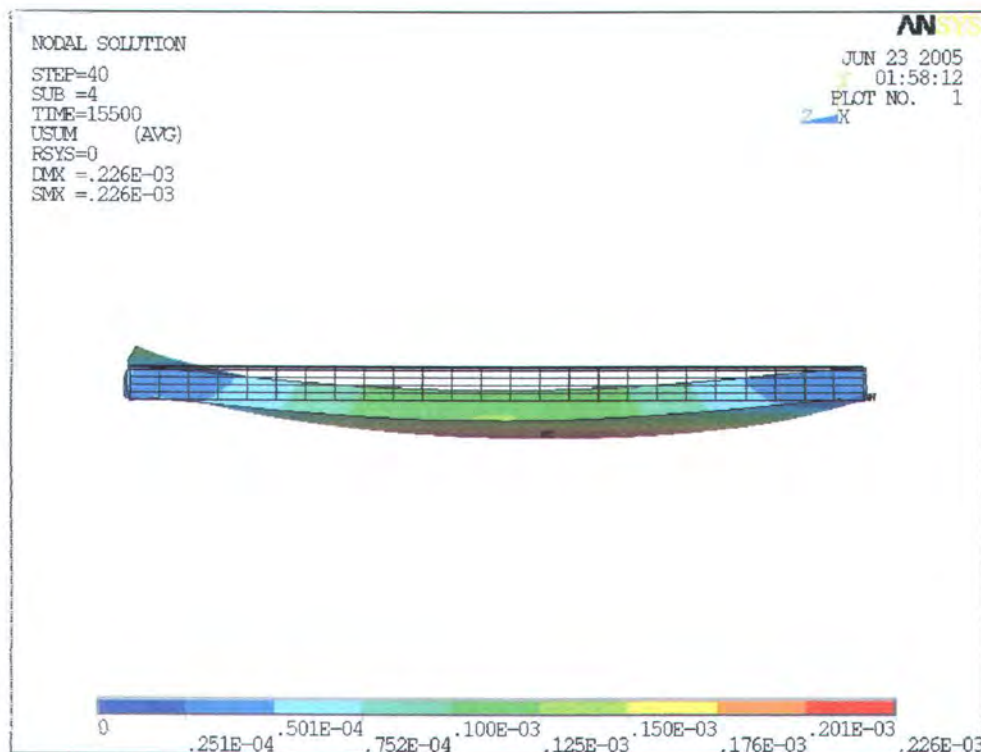
Variasi pengelasan yang menghasilkan tegangan sisa terkecil adalah pengelasan pada variasi III (344 Mpa / -161MPa) karena pengelasan ini menghasilkan tegangan yang masih berada dibawah *yield strength* dari material. Tegangan sisa longitudinal yang terjadi dari pengelasan plat butt joint ini umumnya besar karena peregangan (*strain*) yang terjadi disepanjang lasan juga besar, hal ini dipicu oleh pembebanan panas ke arah memanjang



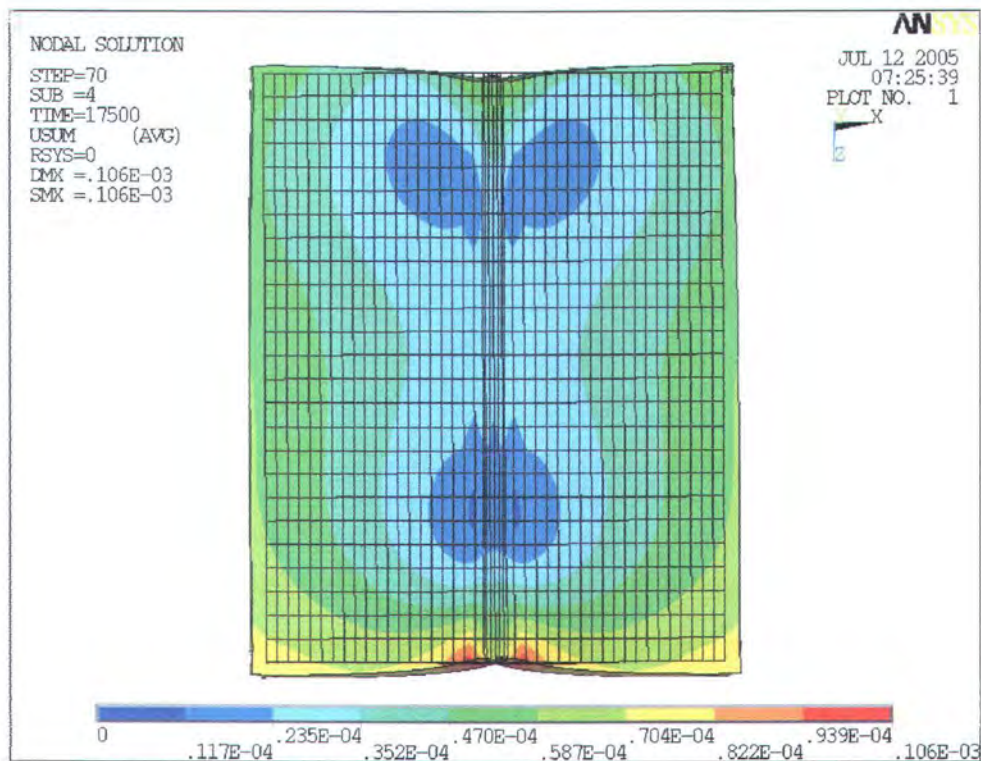
dan durasi pembebanan yang relatif cukup lama yaitu 4 detik elemen, sehingga mengakibatkan peregangan memanjang yang besar dalam material.

#### 4.5.3 Distorsi

Fenomena distorsi selalu terikat dengan tegangan sisa dalam material, akibat pembebanan panas las, siklus panas-dingin yang cepat dalam material, serta penahanan (constraint) ketika pengelasan dilakukan. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya distorsi atau yang umum dimengerti sebagai deformasi dalam pengelasan. Bentuk distorsi yang terjadi pada seluruh variasi pengelasan dalam tugas akhir ini adalah *bending distortion* yang dikombinasikan dengan *longitudinal shrinkage* (penyusutan memanjang).



Gambar 4.29 Distorsi bending pada pengelasan variasi I



Gambar 4.30 *Longitudinal shrinkage* pada pengelasan variasi II

Distorsi minimum terjadi pada pengelasan variasi II yaitu sebesar 0,106 mm sedangkan distorsi maksimum terjadi pada pengelasan variasi IV yaitu sebesar 0,284 mm. Untuk pencapaian optimasi hasil pengelasan dengan distorsi terkecil dapat dipilih pengelasan variasi II tetapi dengan konsekuensi menghasilkan tegangan sisa yang lebih besar daripada tegangan sisa pada pengelasan variasi III. Dari hasil yang telah didapat maka dapat diketahui hubungan antara beban panas, *sequence* (urutan) pengelasan dan penahanan (*constraint*).

Perubahan urutan pengelasan dapat meminimalisir distorsi dan tegangan sisa yang terjadi selain itu, pengaruh *constraint* juga mempengaruhi terbentuknya konsentrasi tegangan sisa yang besar pada daerah/titik yang dikekang meskipun pemberian pengekanan dapat mengurangi distorsi dan juga mendapat distorsi yang sesuai dengan ekspektasi *welder*.





**BAB V**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari keseluruhan pekerjaan dalam tugas akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ;

1. Panas pada proses pengelasan SAW terdistribusi tidak merata pada material. Aliran panas secara konduksi pada plat pejal butt-joint berkisar pada rentang temperatur  $299,986^{\circ}\text{K}$  hingga  $2629^{\circ}\text{K}$ , bagian yang mengalami pengelasan mencapai temperatur tertinggi.
2. Tegangan sisa maksimum yang terjadi adalah tegangan sisa longitudinal pada pengelasan variasi IV yaitu tegangan tarik sebesar 450 Mpa dan tegangan tekan sebesar 306 Mpa. Tegangan sisa longitudinal yang minimum terjadi pada pengelasan variasi III yaitu tegangan tarik sebesar 344 Mpa dan tegangan tekan sebesar 161Mpa.
3. Jenis distorsi yang terjadi akibat 4 macam urutan pengelasan dalam pemodelan adalah kombinasi antara distorsi bending dan penyusutan memanjang. Distorsi maksimum terjadi pada pengelasan variasi IV yaitu sebesar 0,284 mm, sedangkan distorsi minimum terjadi pada pengelasan variasi II yaitu sebesar 0,106 mm.
4. Cara yang dapat dipakai untuk meminimalisasi distorsi yang terjadi adalah pengelasan 2 kali *pass* searah (pengelasan variasi II) dan menggunakan *heat input* yang berbeda untuk tiap *pass*-nya.

#### 5.2 Saran

Karena terdapat banyak asumsi dan penyederhanaan dalam tugas akhir ini, maka penulis memberikan beberapa saran untuk perbaikan pada penelitian selanjutnya, khususnya pada topik simulasi pengelasan.

- a. Untuk dapat merealisasikan kondisi proses pengelasan yang sebenarnya, dalam pemodelan harus diperhitungkan penambahan material lasan dalam celah sambungan (*filler metal*) menggunakan teknik *birth and death element* dan memperhitungkan berat sendiri dari *basemetal* menggunakan *element contact* yang dapat memberikan berat pada struktur, jadi struktur tidak berada dalam keadaan melayang..



- b. Dalam proses pengelasan *butt-joint* dapat dilakukan variasi urutan pengelasan (*welding sequence*) yang lain mapun variasi penahanan (*constraint*) yang lebih banyak untuk lebih mengoptimalkan hasil pemodelan pengelasan.
- c. Pemilihan variasi pengelasan dengan nilai tegangan sisa dan distorsi yang paling optimal diantara berbagai variasi, dapat dilakukan analisa optimasi menggunakan perangkat lunak optimator misalnya TORA atau Expert Choice.
- d. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan nyata dilapangan, dapat dilakukan perbandingan melalui eksperimen menggunakan spesimen dan metode yang sama dengan pemodelan..



## DAFTAR PUSTAKA



## DAFTAR PUSTAKA

- Ansys 6.0 Documentation, **Ansys Theory Reference**.
- Pilipenko, A. (2001). Computer Simulation of Residual Stress and Distortion of Thick Plates in Multi-Electrode Submerged Arc Welding. Their Mitigation Techniques. **Doktor Thesis**, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- AWS. (2000), **Certification Manual For Welding Inspectors**, American Welding Society, USA.
- Logan, D.L. (2000). **A First Course in the Finite Element Method**, Brooks/Cole, United States.
- Mährlein. (1999). **The Welding Engineer's Current Knowledge edition 2000: Fabrication, Application Engineering**. SLV Duisburg GmbH.
- Wirjosumarto, H dan Okumura, T. (1996), **Teknologi Pengelasan Logam**, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Grong, Ø. (1994), **Metallurgical Modelling of Welding**, The Institute of Material, Norway.
- Metals Handbook Vol 1, 10<sup>th</sup> ed. (1990). **Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys**. ASM International.
- Masubuchi, K. (1980), **Analysis of Welded Structures**, Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris, Frankfurt.
- The Lincoln Electric Company (1973), **The Procedure Handbook of Arc Welding**, Twelfth edition, Canada – USA.



**LAMPIRAN**



LL 1327

Tugas Akhir



**LAMPIRAN A**  
**FASILITAS ELEMEN**

## SOLID70

### Element Library

[Next](#)

# SOLID70

## ame

SOLID70 — 3-D Thermal Solid

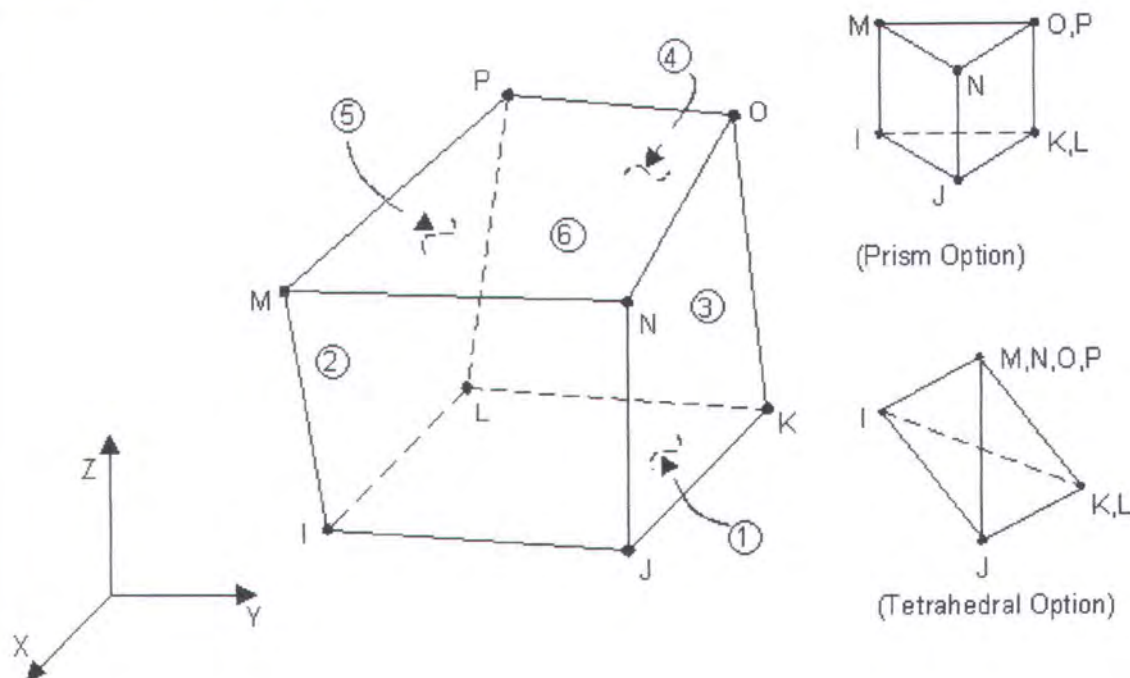
Product: MP ME PR PP ED

## Element Description

SOLID70 has a three-dimensional thermal conduction capability. The element has eight nodes with a single degree of freedom, temperature, at each node. The element is applicable to a three-dimensional, steady-state or transient thermal analysis. The element also can compensate for mass transport heat flow from a constant velocity field. If the model containing the conducting solid element is also to be analyzed structurally, the element should be replaced by an equivalent structural element (such as SOLID45). See SOLID90 for a similar thermal element, with mid-edge node capability.

An option exists that allows the element to model nonlinear steady-state fluid flow through a porous medium. With this option, the thermal parameters are interpreted as analogous fluid flow parameters. For example, the temperature degree of freedom becomes equivalent to a pressure degree of freedom. See the *ANSYS, Inc. Theory Reference* for more details about this element.

### SOLID70 3-D Thermal Solid





## Input Data

The geometry, node locations, and the coordinate system for this element are shown in SOLID70. The element is defined by eight nodes and the orthotropic material properties. Orthotropic material directions correspond to the element coordinate directions. The element coordinate system orientation is as described in Coordinate Systems. Specific heat and density are ignored for steady-state solutions. Properties not input default as described in Linear Material Properties.

Element loads are described in Node and Element Loads. Convections or heat fluxes (but not both) may be input as surface loads at the element faces as shown by the circled numbers on SOLID70.

Heat generation rates may be input as element body loads at the nodes. If the node I heat generation rate (HG(I)) is input, and all others are unspecified, they default to HG(I).

If the nonlinear porous flow option is selected with KEYOPT(7) = 1. For this option, temperature is interpreted as pressure and the absolute permeabilities of the medium are input as material properties KXX, KYY, and KZZ. Properties DENS and VISC are used for the mass density and viscosity of the fluid. Properties C and MU are used in calculating the coefficients of permeability as described in the *ANSYS, Inc. Theory Reference*. Temperature boundary conditions input with the **D** command are interpreted as pressure boundary conditions, and heat flow boundary conditions input with the **F** command are interpreted as mass flow rate (mass/time).

The mass transport option is available with KEYOPT(8). With this option the velocities VX, VY, and VZ must be input as real constants (in the element coordinate system). Also, temperatures should be specified along the entire inlet boundary to assure a stable solution. With mass transport, you should use specific heat (C) and density (DENS) material properties instead of enthalpy (ENTH).

A summary of the element input is given in Input Summary. A general description of element input is given in Element Input.

### SOLID70 Input Summary

Element Name

SOLID70

Nodes

I, J, K, L, M, N, O, P

Degrees of Freedom

TEMP

Real Constants

VX, VY, VZ IF KEYOPT (8) > 0

Material Properties

KXX, KYY, KZZ, DENS, C, ENTH,

VISC, MU (VISC and MU used only if KEYOPT(7) = 1.

Do not use ENTH with KEYOPT(8) = 1).

Surface Loads

Convections --

face 1 (J-I-L-K), face 2 (I-J-N-M), face 3 (J-K-O-N),

face 4 (K-L-P-O), face 5 (L-I-M-P), face 6 (M-N-O-P)

Heat Fluxes --

face 1 (J-I-L-K), face 2 (I-J-N-M), face 3 (J-K-O-N),

face 4 (K-L-P-O), face 5 (L-I-M-P), face 6 (M-N-O-P)

Body Loads

Heat Generations --

HG(I), HG(J), HG(K), HG(L), HG(M), HG(N), HG(O), HG(P)

Special Features

Birth and death.

YOPT(2)

0 --

Evaluate film coefficient (if any) at average film temperature,  $(TS + TB)/2$

1 --

Evaluate at element surface temperature, TS

2 --

Evaluate at fluid bulk temperature, TB

3 --

Evaluate at differential temperature  $|TS - TB|$

YOPT(4)

0 --

Element coordinate system is parallel to the global coordinate system

1 --

Element coordinate system is based on the element I-J side

YOPT(7)

0 --

Standard heat transfer element

1 --

Nonlinear steady-state fluid flow analogy element

### Note

Temperature degree of freedom interpreted as pressure.

YOPT(8)

0 --

No mass transport effects

1 --

Mass transport with VX, VY, VZ

## Output Data

The solution output associated with the element is in two forms:

- nodal temperatures included in the overall nodal solution





- additional element output as shown in [Element Output Definitions](#)

Convection heat flux is positive out of the element; applied heat flux is positive into the element. If  $YOPT(7) = 1$ , the standard thermal output should be interpreted as the analogous fluid flow output. The element output directions are parallel to the element coordinate system. A general description of element output is given in [Solution Output](#). See the [ANSYS Basic Analysis Guide](#) for ways to view results.

The Element Output Definitions table uses the following notation:

Colon (:) in the Name column indicates the item can be accessed by the Component Name method [TABLE, ESOLJ]. The O column indicates the availability of the items in the file Jobname.OUT. The R column indicates the availability of the items in the results file.

Either the O or R columns, Y indicates that the item is *always* available, a number refers to a table footnote that describes when the item is *conditionally* available, and a - indicates that the item is *not* available.

### LID70 Element Output Definitions

Name	Definition	O	R
	Element Number	Y	Y
NODES	Nodes - I, J, K, L, M, N, O, P	Y	Y
MAT	Material number	Y	Y
VOLUME:	Volume	Y	Y
C, YC, ZC	Location where results are reported	Y	3
GEN	Heat generations HG(I), HG(J), HG(K), HG(L), HG(M), HG(N), HG(O), HG(P)	Y	-
G: X, Y, Z, SUM	Thermal gradient components and vector sum at centroid	Y	Y
F: X, Y, Z, SUM	Thermal flux (heat flow rate/cross-sectional area) components and vector sum at centroid	Y	Y
FACE	Face label	1	-
AREA	Face area	1	1
NODES	Face nodes	1	-
FILM	Film coefficient at each node of face	1	-
BULK	Bulk temperature at each node of face	1	-
AVG	Average face temperature	1	1
HEAT RATE	Heat flow rate across face by convection	1	1
HEAT RATE/AREA	Heat flow rate per unit area across face by convection	1	-
FAVG	Average film coefficient of the face	-	1
BAVG	Average face bulk temperature	-	1
FLXAVG	Heat flow rate per unit area across face caused by input heat flux	-	1



HEAT FLUX	Heat flux at each node of face	1	-
PRESSURE GRAD	Total pressure gradient and its X, Y, and Z components	2	-
MASS FLUX	Mass flow rate per unit cross-sectional area	2	-
FLUID VELOCITY	Total fluid velocity and its X, Y, and Z components	2	-

1. Output if a surface load is input
2. Output if KEYOPT(7) = 1
3. Available only at centroid as a **\*GET** item.

Item and Sequence Numbers for **ETABLE** and **ESOL** lists output available through the **ETABLE** command using the Sequence Number method. See The General Postprocessor (POST1) in the *ANSYS Basic Analysis Guide* and The Item and Sequence Number Table in this manual for more information. The following notation is used in Item and Sequence Numbers for **ETABLE** and **ESOL**:

me

output quantity as defined in the Element Output Definitions

m

predetermined Item label for **ETABLE** command

n

sequence number for solution items for element Face *n*

#### SOLID70 Item and Sequence Numbers for the **ETABLE** and **ESOL** Commands

Name	Item	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6
AREA	NMISC	1	7	13	19	25	31
FAVG	NMISC	2	8	14	20	26	32
AVG	NMISC	3	9	15	21	27	33
BAVG	NMISC	4	10	16	22	28	34
HEAT RATE	NMISC	5	11	17	23	29	35
FLXAVG	NMISC	6	12	18	24	30	36

## Assumptions and Restrictions

The element must not have a zero volume. This occurs most frequently when the element is not numbered properly. Elements may be numbered either as shown in **SOLID70** or may have the planes CL and MNOP interchanged. A prism or tetrahedron shaped element may be formed by defining duplicate node numbers as described in Triangle, Prism and Tetrahedral Elements.



specific heat and enthalpy are evaluated at each integration point to allow for abrupt changes (such as melting) within a coarse grid. If the thermal element is to be replaced by a [SOLID45](#) structural element with surface stresses requested, the thermal element should be oriented such that face IJNM or face KLPO is a free surface.

Free surface of the element (that is, not adjacent to another element and not subjected to a boundary constraint) is assumed to be adiabatic. Thermal transients having a fine integration time step and a large thermal gradient at the surface will also require a fine mesh at the surface.

KEYOPT(8) > 0, unsymmetric matrices are produced.

## Product Restrictions

When used in the product(s) listed below, the stated product-specific restrictions apply to this element in addition to the general assumptions and restrictions given in the previous section.

### SYS/Professional

- This element does not have the mass transport or fluid flow options. KEYOPT(7) and KEYOPT(8) can only be set to 0 (default).
- The VX, VY, and VZ real constants are not applicable.
- The VISC and MU material properties are not applicable.
- The element does not have the birth and death feature.

---

ev

[SOLID69](#)

Next

[MASS71](#)

## SOLID45

### Element Library

[Next](#)

# SOLID45

## ame

SOLID45 — 3-D Structural Solid

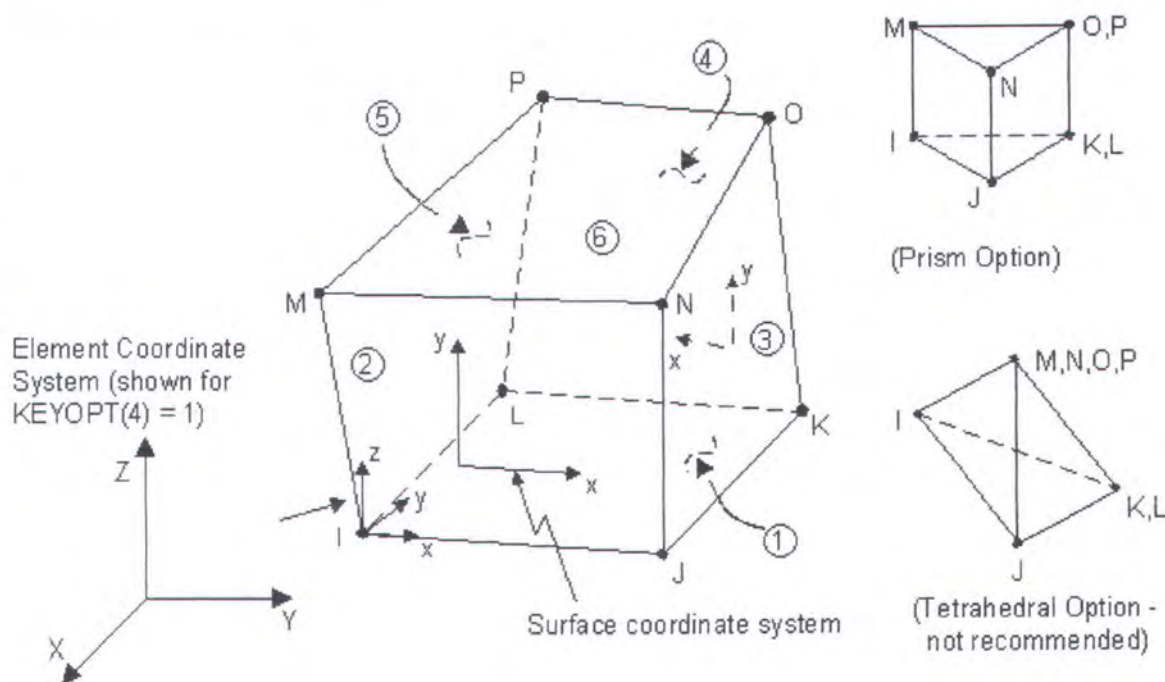
Product: MP ME ST PR PP ED

## ement Description

SOLID45 is used for the three-dimensional modeling of solid structures. The element is defined by eight nodes having three degrees of freedom at each node: translations in the nodal x, y, and z directions.

The element has plasticity, creep, swelling, stress stiffening, large deflection, and large strain capabilities. A reduced integration option with hourglass control is available. See the *ANSYS, Theory Reference* for more details about this element. A similar element with anisotropic properties is SOLID64. A higher-order version of the SOLID45 element is SOLID95.

### SOLID45 3-D Structural Solid



## Input Data

The geometry, node locations, and the coordinate system for this element are shown in SOLID45. The element is defined by eight nodes and the orthotropic material properties. Orthotropic material directions



respond to the element coordinate directions. The element coordinate system orientation is as described in Coordinate Systems.

Element loads are described in Node and Element Loads. Pressures may be input as surface loads on the element faces as shown by the circled numbers on SOLID45. Positive pressures act into the element. Temperatures and fluences may be input as element body loads at the nodes. The node I temperature T defaults to TUNIF. If all other temperatures are unspecified, they default to T(I). For any other input temperature pattern, unspecified temperatures default to TUNIF. Similar defaults occur for fluence except that zero is used instead of TUNIF.

KEYOPT(1) is used to include or suppress the extra displacement shapes. KEYOPT(5) and KEYOPT(6) provide various element printout options (see Element Solution).

This element also supports uniform reduced (1 point) integration with hourglass control when KEYOPT(1) = 1. Using uniform reduced integration provides the following advantages when running a nonlinear analysis:

- Less CPU time is required for element stiffness formation and stress/strain calculations to achieve a comparable accuracy to the FULL integration option.
- The length of the element history saved record (.ESAV and .OSAV) is about 1/7th as much as when the full integration (2 X 2 X 2) is used for the same number of elements.
- Nonlinear convergence characteristic of the option is generally far superior to the default full integration with extra displacement shape; that is, KEYOPT(1) = 0, KEYOPT(2) = 0.
- The analysis will not suffer from volumetric locking which can be caused by plasticity or other incompressible material properties.

Analysis using uniform reduced integration can have the following disadvantages:

- The analysis is not as accurate as the full integration method, which is apparent in the linear analysis for the same mesh.
- The analysis cannot capture the bending behavior with a single layer of elements, for example, in the case of a fixed-end cantilever with a lateral point load, modeled by one layer of elements laterally. Instead, four elements are usually recommended.

When the uniform reduced integration option is used (KEYOPT(2) = 1 - this option is the same as SOLID185 with KEYOPT(2) = 1), you can check the accuracy of the solution by comparing the total energy (SENE label in ETABLE) and the artificial energy (AENE label in ETABLE) introduced by hourglass control. If the ratio of:

$$\frac{\text{Artificial energy}}{\text{Total energy}} < 5\%$$

the solution is generally acceptable. If the ratio exceeds 5%, refine the mesh. The total energy and artificial energy can also be monitored by using the **OUTPR, VENG** command in the solution phase. For more details, see the *ANSYS, Inc. Theory Reference*.

KEYOPT(9)=1 is used to read initial stress data from a user subroutine. For details about these user routines, see the *ANSYS Guide to User Programmable Features*.

You can include the effects of pressure load stiffness in a geometric nonlinear analysis using **LCONTROL**,,INCP. Pressure load stiffness effects are included in linear eigenvalue buckling automatically. If an unsymmetric matrix is needed for pressure load stiffness effects, use **KEYOPT**,UNSYM.

A summary of the element input is given in Input Summary. A general description of element input is given in Element Input.

## SOLID45 Input Summary

### Element Name

SOLID45

### Nodes

I, J, K, L, M, N, O, P

### Degrees of Freedom

UX, UY, UZ

### Real Constants

Hourglass control factor needed only when KEYOPT(2) = 1.

### Note

The valid value for this real constant is any positive number; default = 1.0. We recommend that you use a value between 1 and 10.

### Material Properties

EX, EY, EZ, (PRXY, PRYZ, PRXZ or NUXY, NUYZ, NUXZ),  
ALPX, ALPY, ALPZ, DENS, GXY, GYZ,  
GXZ, DAMP

### Surface Loads

Pressures --

face 1 (J-I-L-K), face 2 (I-J-N-M), face 3 (J-K-O-N),  
face 4 (K-L-P-O), face 5 (L-I-M-P), face 6 (M-N-O-P)

### Body Loads

Temperatures --

T(I), T(J), T(K), T(L), T(M), T(N), T(O), T(P)

Fluences --

FL(I), FL(J), FL(K), FL(L), FL(M), FL(N), FL(O), FL(P)

### Special Features

Plasticity, Creep, Swelling, Stress stiffening, Large deflection, Large strain, Birth and death,  
Adaptive descent

### KEYOPT(1)

0 --

Include extra displacement shapes



- 1 --  
Suppress extra displacement shapes
- KEYOPT(2)
  - 0 --  
Full integration with or without extra displacement shapes, depending on the setting of KEYOPT(1)
  - 1 --  
Uniform reduced integration with hourglass control; suppress extra displacement shapes (KEYOPT(1) is automatically set to 1).
- KEYOPT(4)
  - 0 --  
Element coordinate system is parallel to the global coordinate system
  - 1 --  
Element coordinate system is based on the element I-J side
- KEYOPT(5)
  - 0 --  
Basic element solution
  - 1 --  
Repeat basic solution for all integration points
  - 2 --  
Nodal Stress Solution
- KEYOPT(6)
  - 0 --  
Basic element solution
  - 1 --  
Surface solution for face I-J-N-M also
  - 2 --  
Surface solution for face I-J-N-M and face K-L-P-O  
(Surface solution available for linear materials only)
  - 3 --  
Nonlinear solution at each integration point also
  - 4 --  
Surface solution for faces with nonzero pressure
- KEYOPT(9)
  - 0 --  
No user subroutine to provide initial stress (default)
  - 1 --  
Read initial stress data from user subroutine USTRESS

### Note

See the *ANSYS Guide to User Programmable Features* for user written subroutines

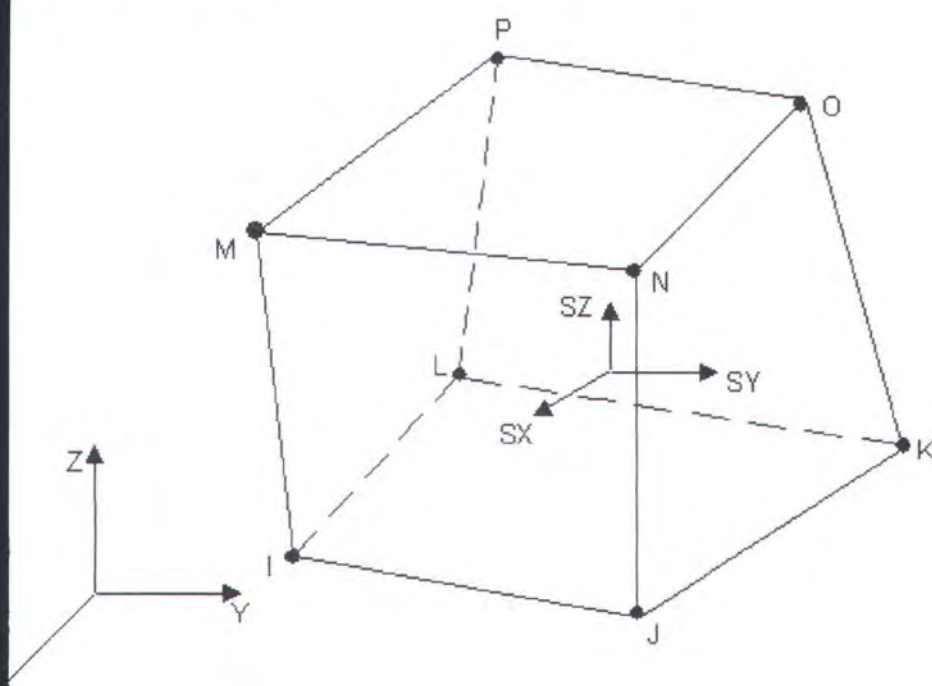
## Output Data

solution output associated with the element is in two forms:

- nodal displacements included in the overall nodal solution
- additional element output as shown in [Element Output Definitions](#)

Several items are illustrated in [Stress output](#). The element stress directions are parallel to the element coordinate system. The surface stress outputs are in the surface coordinate systems and are available for each face (KEYOPT(6)). The coordinate systems for faces IJNM and KLPO are shown in [SOLID45](#). The other surface coordinate systems follow similar orientations as indicated by the pressure face node description. Surface stress printout is valid only if the conditions described in [Element Solution](#) are met. General description of solution output is given in [Solution Output](#). See the [ANSYS Basic Analysis Guide](#) for ways to view results.

### SOLID45 Stress Output



Stress directions shown are for KEYOPT(4) = 0

When KEYOPT(2) = 1 (the element is using uniform reduced integration), all the outputs for the element integration points are output in the same style as the full integration outputs. The number of integration points for full integration is used for consistency of output within the same element type.

The Element Output Definitions table uses the following notation:

Colon (:) in the Name column indicates the item can be accessed by the Component Name method ([TABLE](#), [ESOL](#)). The O column indicates the availability of the items in the file Jobname.OUT. The R column indicates the availability of the items in the results file.

Either the O or R columns, Y indicates that the item is *always* available, a number refers to a table footnote that describes when the item is *conditionally* available, and a - indicates that the item is *not*



lable.

## LID45 Element Output Definitions

Name	Definition	O	R
	Element Number	Y	Y
NODES	Nodes - I, J, K, L, M, N, O, P	Y	Y
MAT	Material number	Y	Y
VOLUME:	Volume	Y	Y
XC, YC, ZC	Location where results are reported	Y	3
PRES	Pressures P1 at nodes J, I, L, K; P2 at I, J, N, M; P3 at J, K, O, N; P4 at K, L, P, O; P5 at L, I, M, P; P6 at M, N, O, P	Y	Y
TEMP	Temperatures T(I), T(J), T(K), T(L), T(M), T(N), T(O), T(P)	Y	Y
FLUEN	Fluences FL(I), FL(J), FL(K), FL(L), FL(M), FL(N), FL(O), FL(P)	Y	Y
STRESS: X, Y, Z, XY, YZ, XZ	Stresses	Y	Y
PRIN: 1, 2, 3	Principal stresses	Y	Y
INT	Stress intensity	Y	Y
SEQV	Equivalent stress	Y	Y
EL: X, Y, Z, XY, YZ, XZ	Elastic strains	Y	Y
EL: 1, 2, 3	Principal elastic strains	Y	-
EL: SEQV	Equivalent elastic strain [4]	Y	Y
TH: X, Y, Z, XY, YZ, XZ	Average thermal strains	1	1
TH: SEQV	Equivalent thermal strain [4]	1	1
PL: X, Y, Z, XY, YZ, XZ	Average plastic strains	1	1
PL: SEQV	Equivalent plastic strain [4]	1	1
PCR: X, Y, Z, XY, YZ, XZ	Average creep strains	1	1
PCR: SEQV	Equivalent creep strain [4]	1	1
PSW:	Average swelling strain	1	1
LEPEQ	Average equivalent plastic strain	1	1
LESRAT	Ratio of trial stress to stress on yield surface	1	1
LESEPL	Average equivalent stress from stress-strain curve	1	1
LEHPRES	Hydrostatic pressure		1
FACE	Face label	2	2
AREA	Face area	2	2
TEMP	Surface average temperature	2	2



EL	Surface elastic strains (X,Y,XY)	2	2
ESS	Surface pressure	2	2
X, Y, XY)	Surface stresses (X-axis parallel to line defined by first two nodes which define the face)	2	2
, 2, 3)	Surface principal stresses	2	2
NT	Surface stress intensity	2	2
QV	Surface equivalent stress	2	2
OCI: X, Y, Z	Integration point locations	-	Y

- . Nonlinear solution, output only if the element has a nonlinear material
- . Surface output (if KEYOPT(6) is 1, 2, or 4)
- . Available only at centroid as a \*Get item
- . The equivalent strains use an effective Poisson's ratio: for elastic and thermal this value is set by the user (MP,PRXY); for plastic and creep this value is set at 0.5.

#### LID45 Miscellaneous Element Output

Description	Names of Items Output	O	R
Nonlinear Integration Pt. Solution	EPPL, EPEQ, SRAT, SEPL, HPRES, EPCR, EPSW	1	-
Integration Point Stress Solution	TEMP, S(X, Y, Z, XY, YZ, XZ), SINT, SEQV, EPEL	2	-
Nodal Stress Solution	TEMP, S(X, Y, Z, XY, YZ, XZ), SINT, SEQV, EPEL	3	-

- . Output at each of eight integration points, if the element has a nonlinear material and KEYOPT(6) = 3
- . Output at each integration point, if KEYOPT(5) = 1
- . Output at each node, if KEYOPT(5) = 2

Item and Sequence Numbers for **ETABLE** and **ESOL** lists output available through the **ETABLE** command using the Sequence Number method. See The General Postprocessor (POST1) in the *ANSYS Static Analysis Guide* and The Item and Sequence Number Table of this manual for more information. The following notation is used in Item and Sequence Numbers for **ETABLE** and **ESOL**:

me

output quantity as defined in the Element Output Definitions

m

predetermined Item label for **ETABLE** command

...,P -



sequence number for data at nodes I,J,...,P

### SOLID45 Item and Sequence Numbers for the **ETABLE** and **ESOL** Commands

Item	I	J	K	L	M	N	O	P
SMISC	2	1	4	3	-	-	-	-
SMISC	5	6	-	-	8	7	-	-
SMISC	-	9	10	-	-	12	11	-
SMISC	-	-	13	14	-	-	16	15
SMISC	18	-	-	17	19	-	-	20
SMISC	-	-	-	-	21	22	23	24
NMISC	1	6	11	16	21	26	31	36
NMISC	2	7	12	17	22	27	32	37
NMISC	3	8	13	18	23	28	33	38
NMISC	4	9	14	19	24	29	34	39
NMISC	5	10	15	20	25	30	35	40
NMISC	41	42	43	44	45	46	47	48

See [Surface Solution Index](#) in this manual for the item and sequence numbers for surface output for the **ETABLE** command.

## Assumptions and Restrictions

No volume elements are not allowed. Elements may be numbered either as shown in [SOLID45](#) or may have the planes IJKL and MNOP interchanged. Also, the element may not be twisted such that the element has two separate volumes. This occurs most frequently when the elements are not numbered properly.

Elements must have eight nodes. A prism-shaped element may be formed by defining duplicate K and L and duplicate O and P node numbers (see [Triangle, Prism and Tetrahedral Elements](#)). A tetrahedron shape is also available. The extra shapes are automatically deleted for tetrahedron elements.

## Product Restrictions

When used in the product(s) listed below, the stated product-specific restrictions apply to this element in addition to the general assumptions and restrictions given in the previous section.

### ANSYS/Professional

- The DAMP material property is not allowed.
- Fluence body loads are not applicable.
- The only special feature allowed is stress stiffening.

- KEYOPT(6) = 3 is not applicable.

v

AM44

Next

[SOLID46](#)

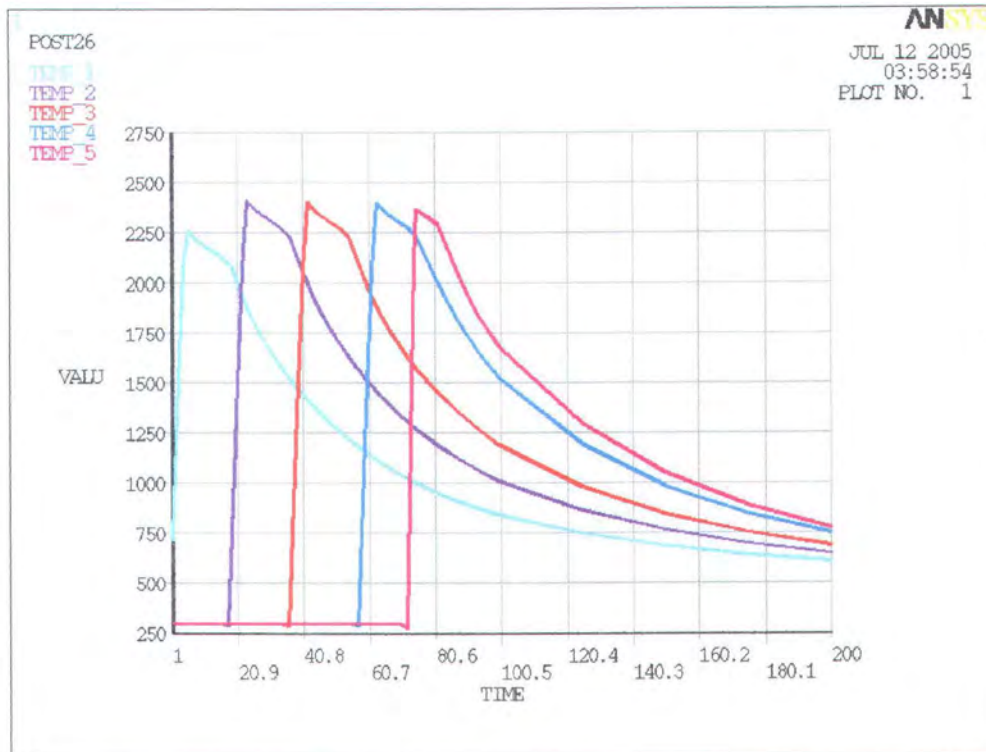




**LAMPIRAN B**  
**GRAFIK OUTPUT HASIL PENGELASAN**

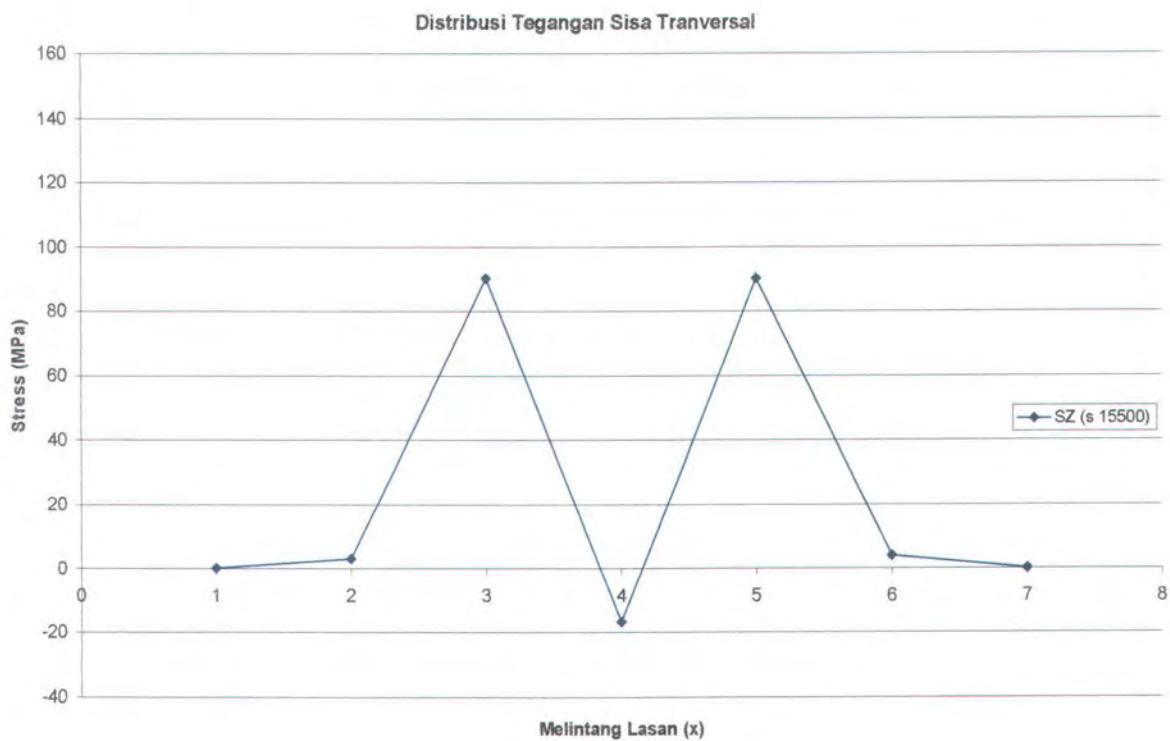
# Pengelasan Variasi I

## 1. Siklus Panas



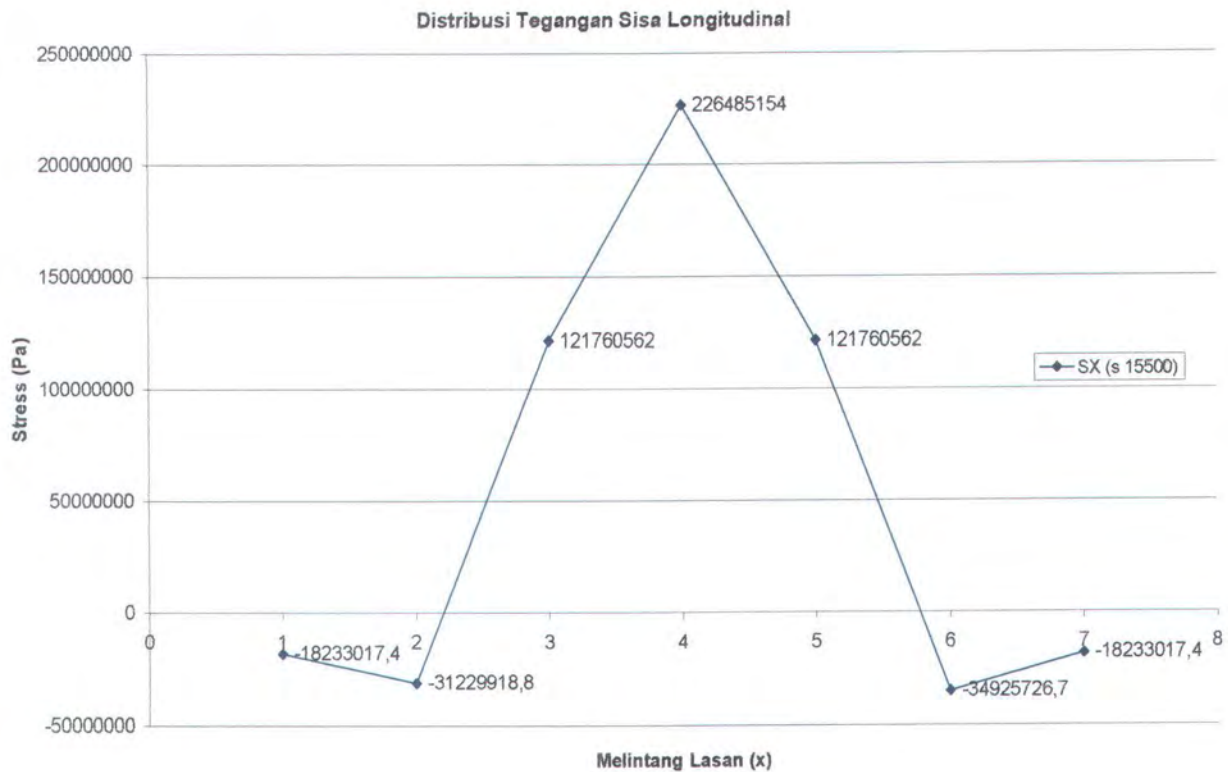
Gambar siklus panas pada 5 node acak dalam HAZ menurut fungsi waktu

## 2. Tegangan Sisa Transversal

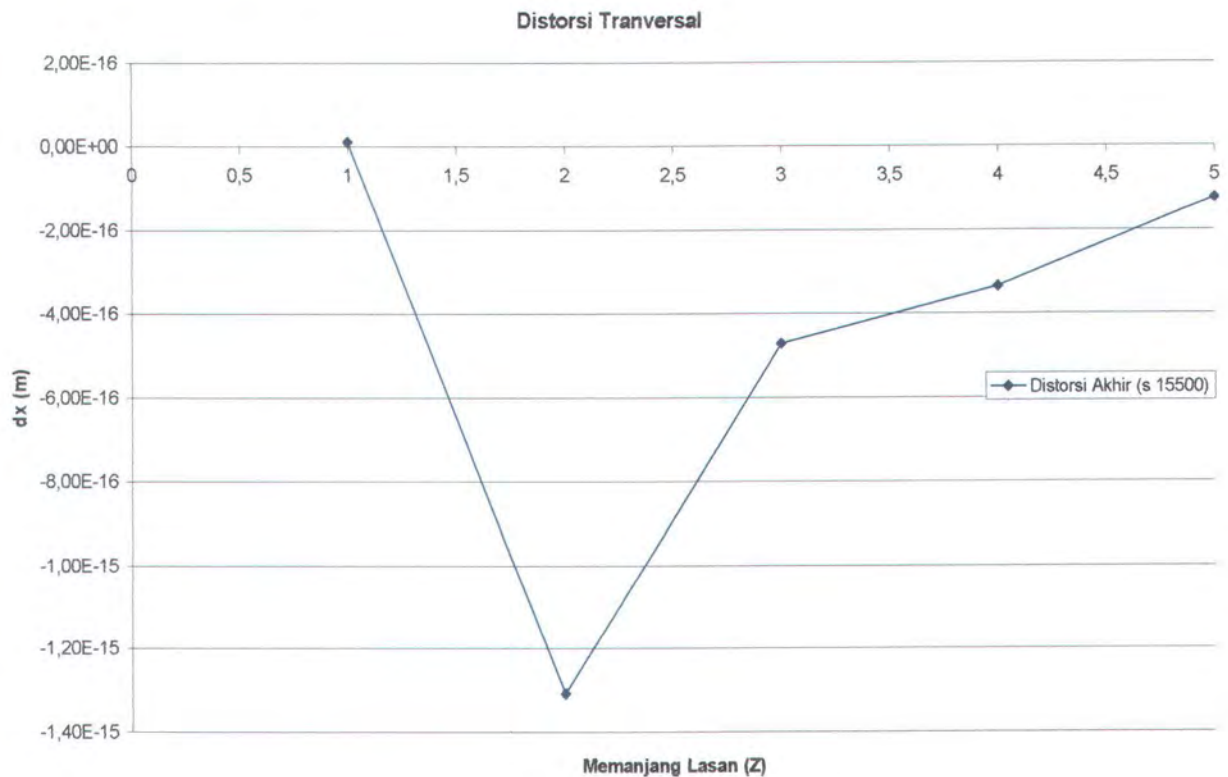




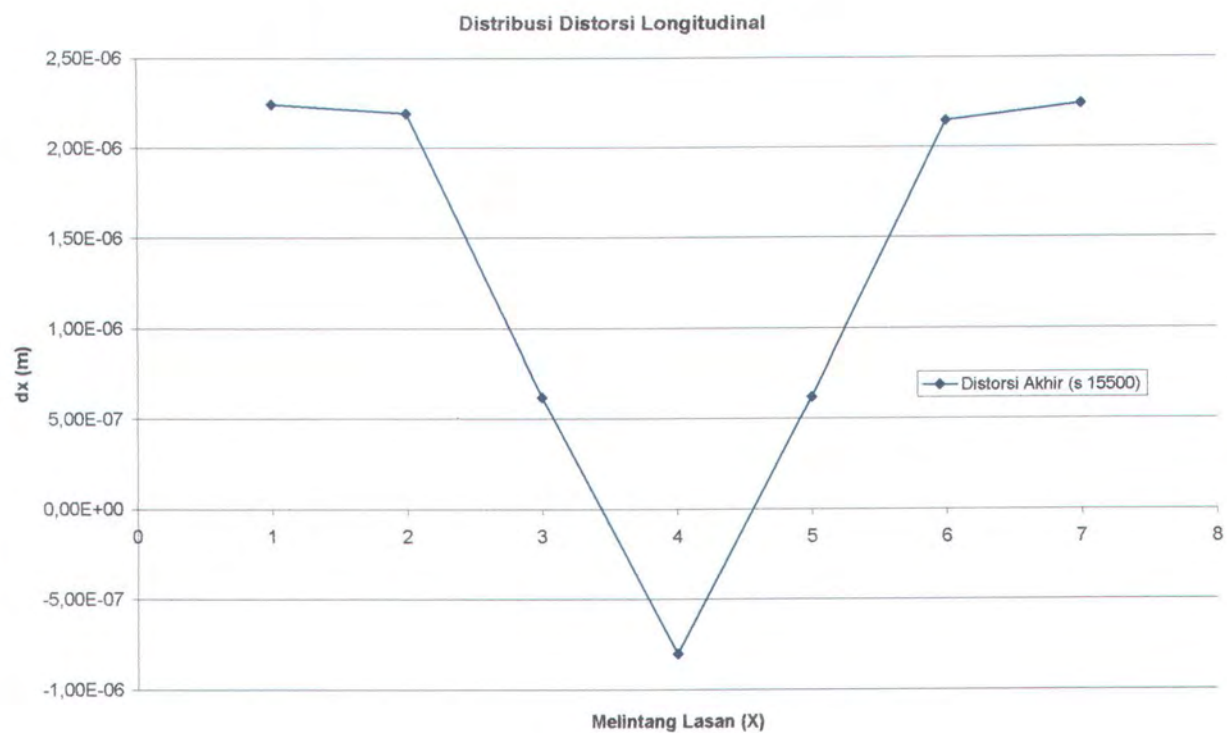
### 3. Tegangan Sisa Longitudinal



### 4. Distorsi Transversal



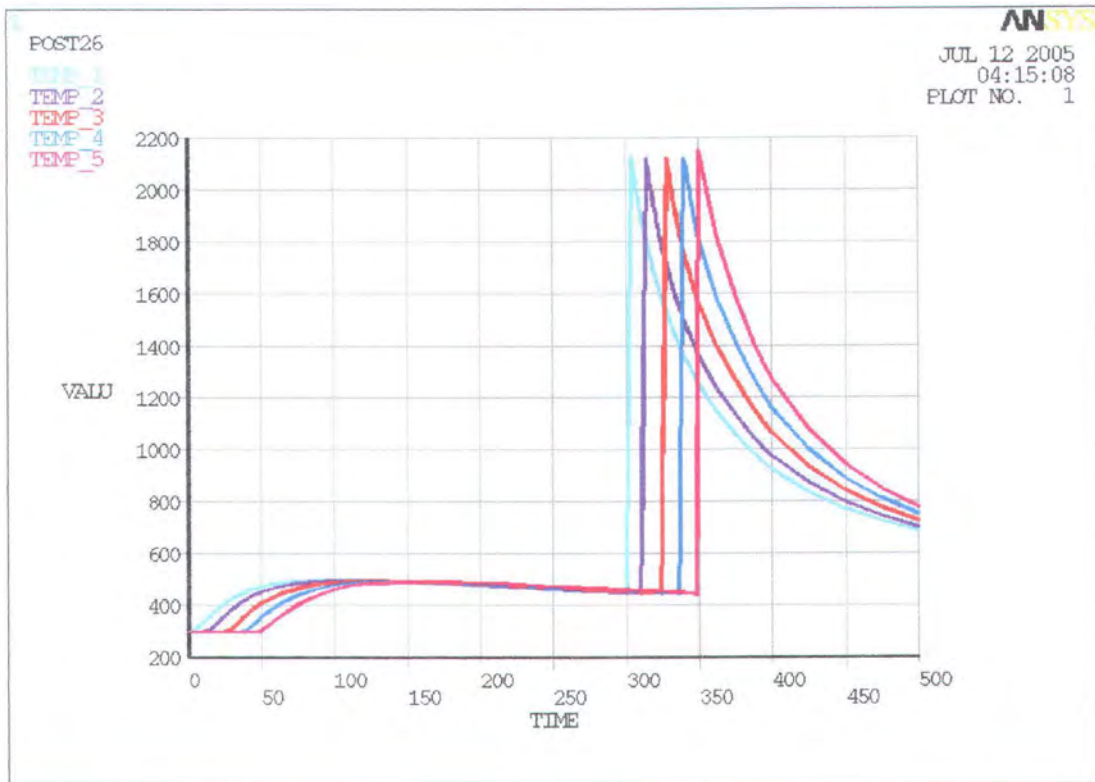
## 5. Distorsi Longitudinal





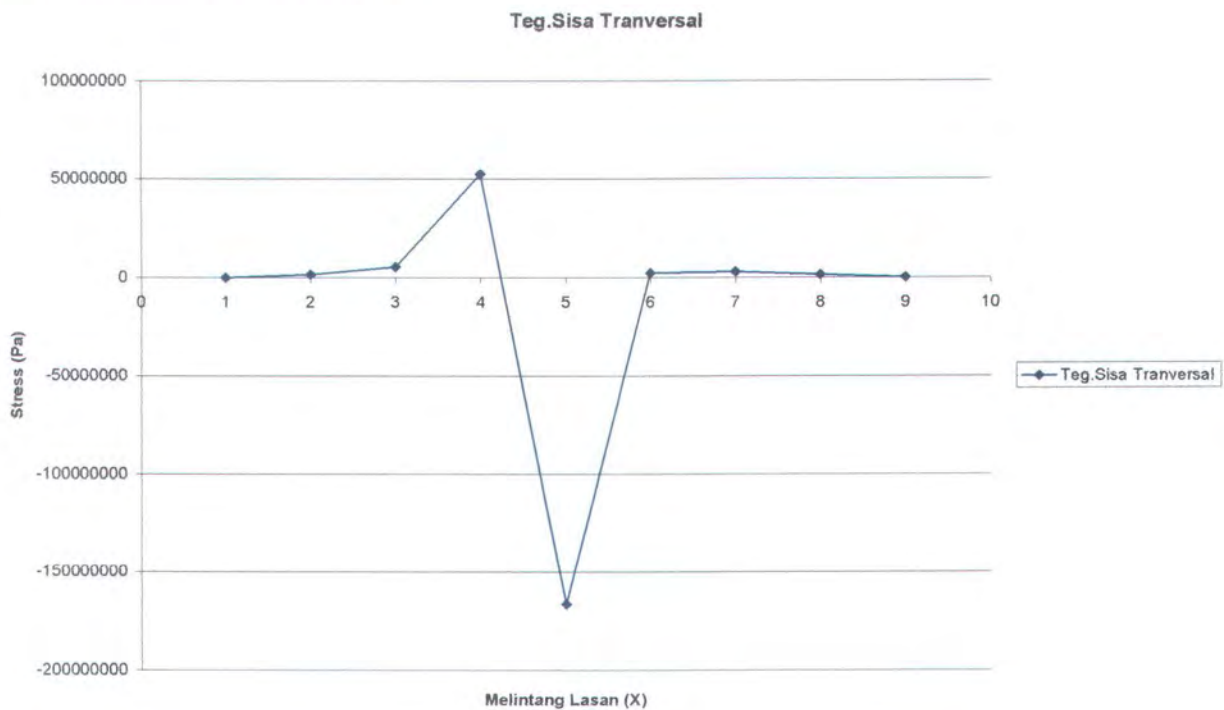
## Pengelasan Variasi II

### 1. Siklus Panas

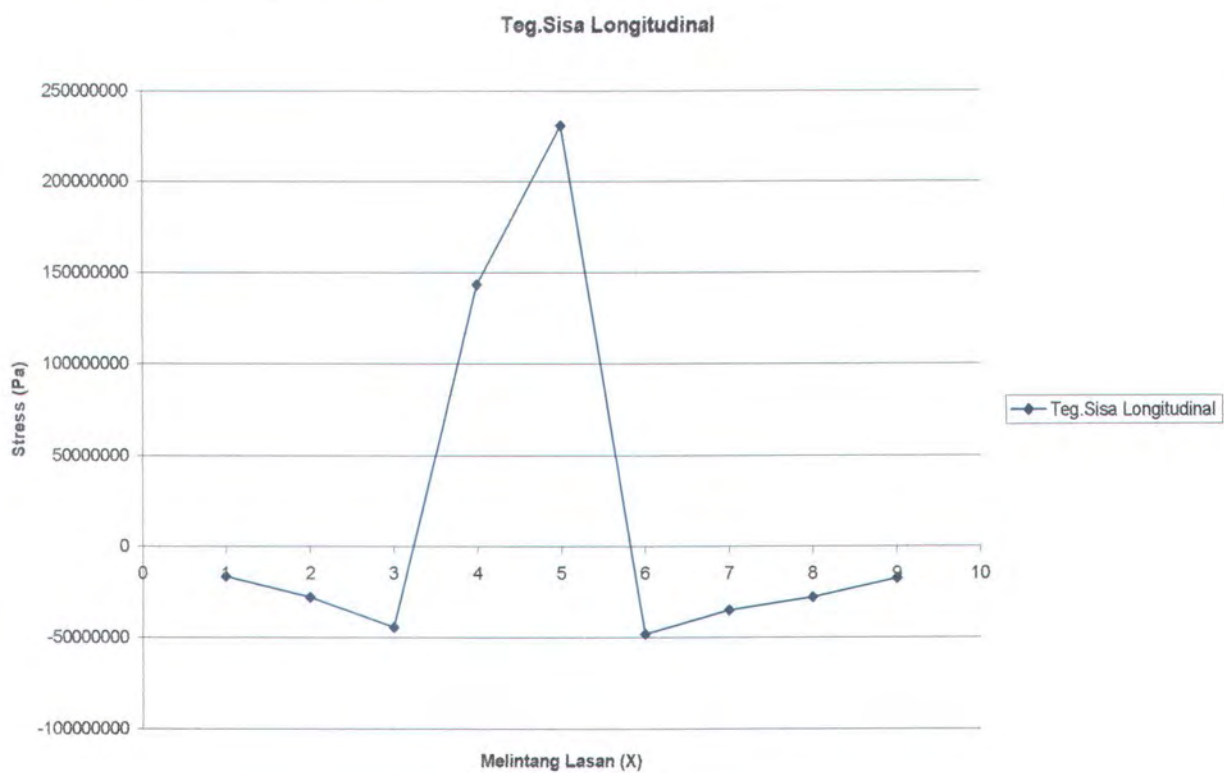


Gambar siklus panas pada 5 node plat bagian atas secara acak dalam HAZ menurut fungsi waktu

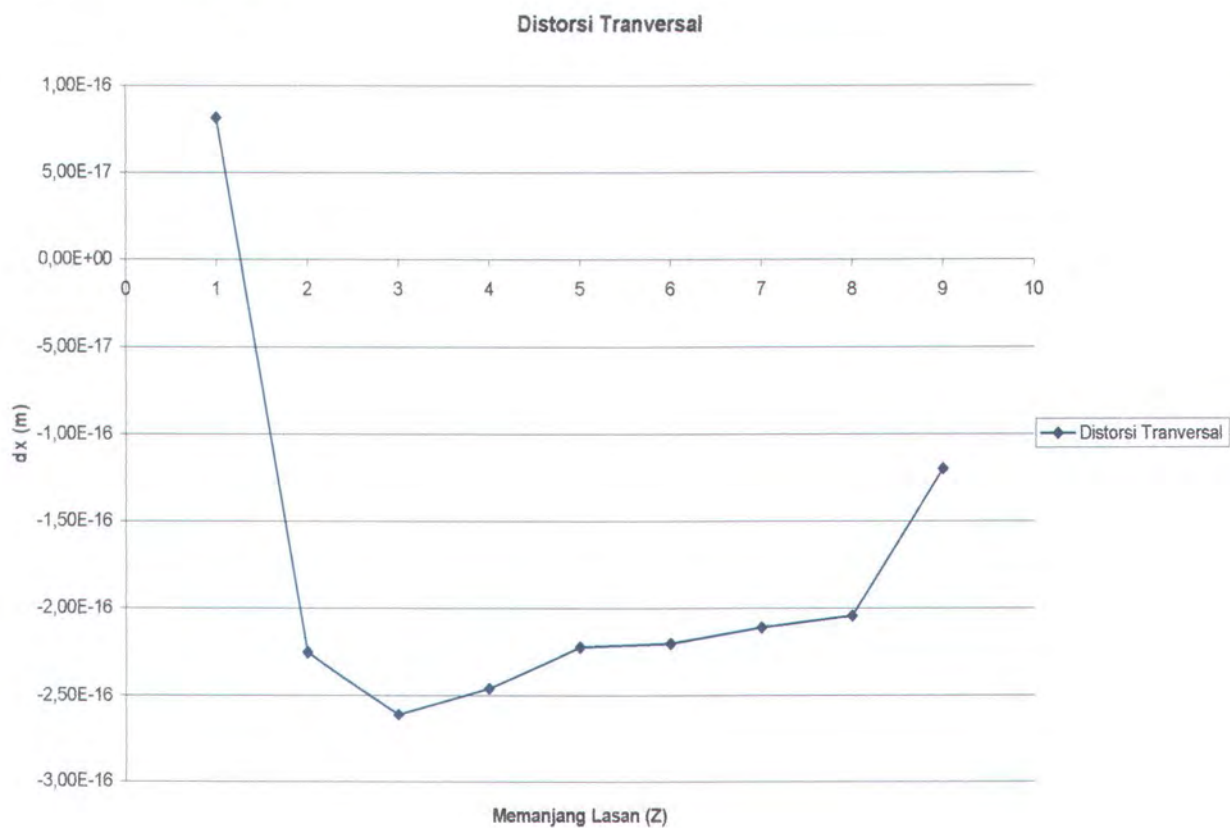
### 2. Tegangan Sisa Transversal



### 3. Tegangan Sisa Longitudinal

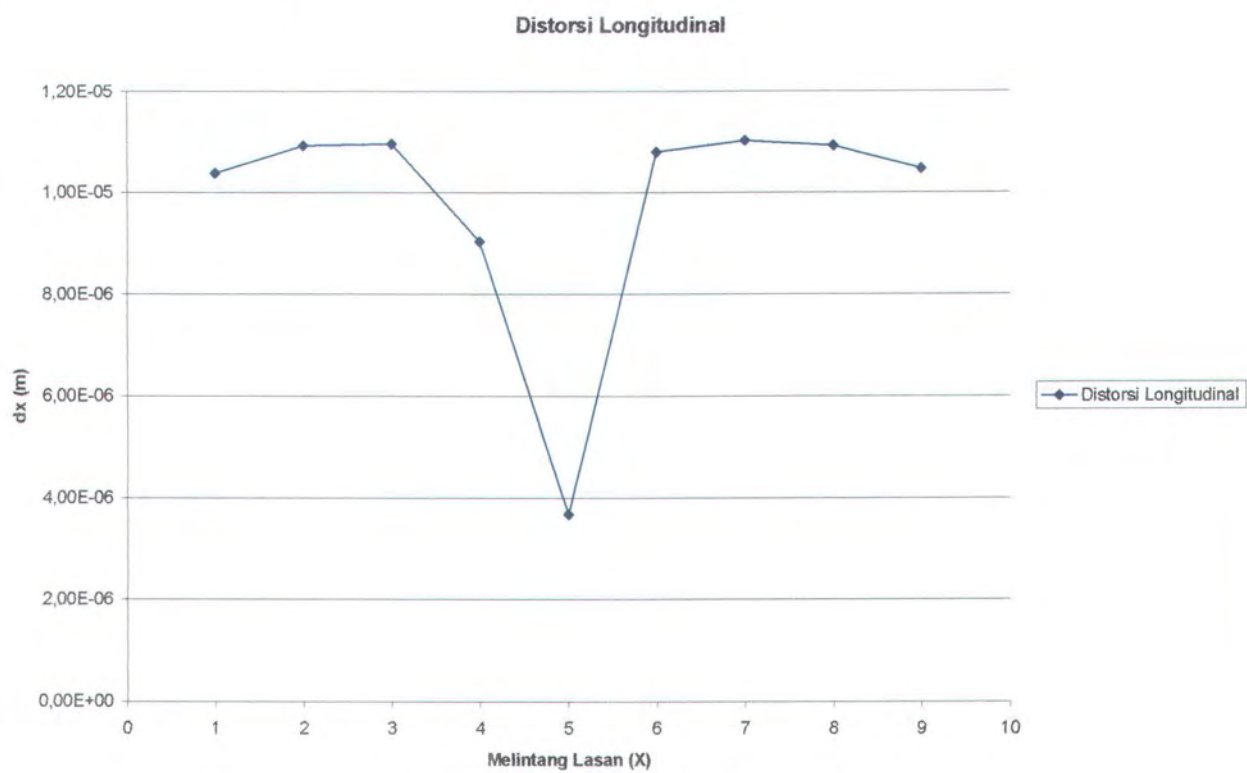


### 4. Distorsi Transversal



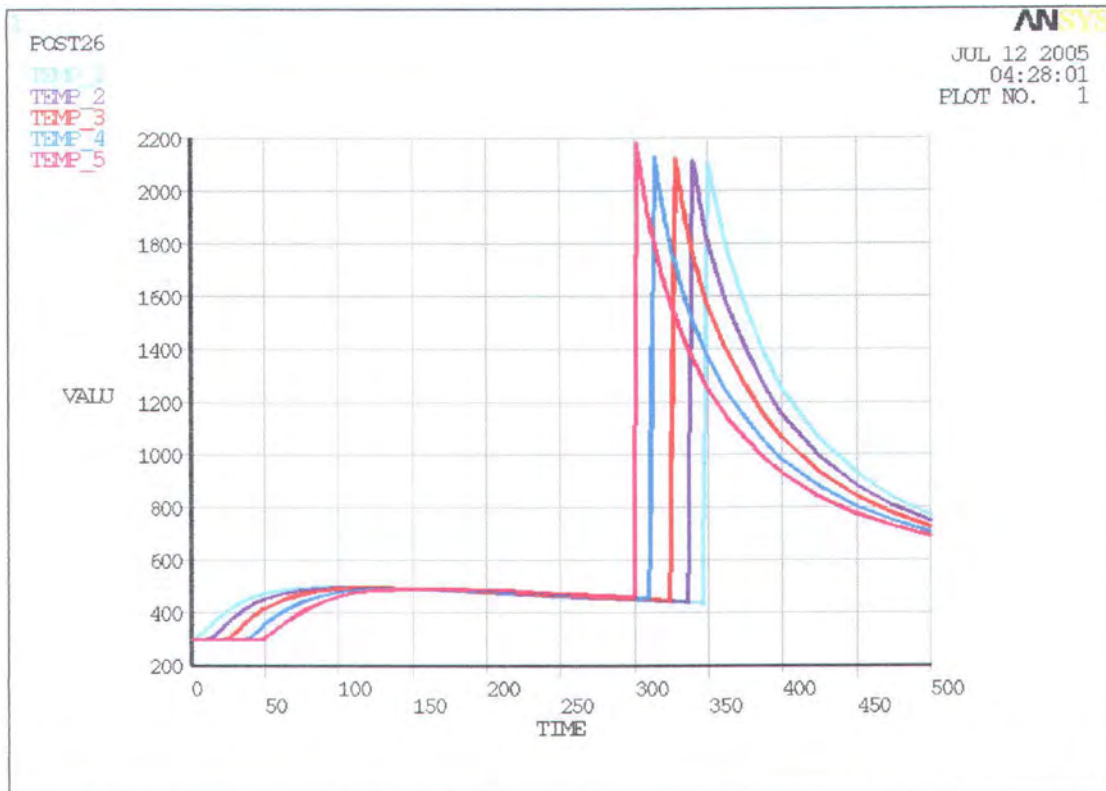


## 5. Distorsi Longitudinal



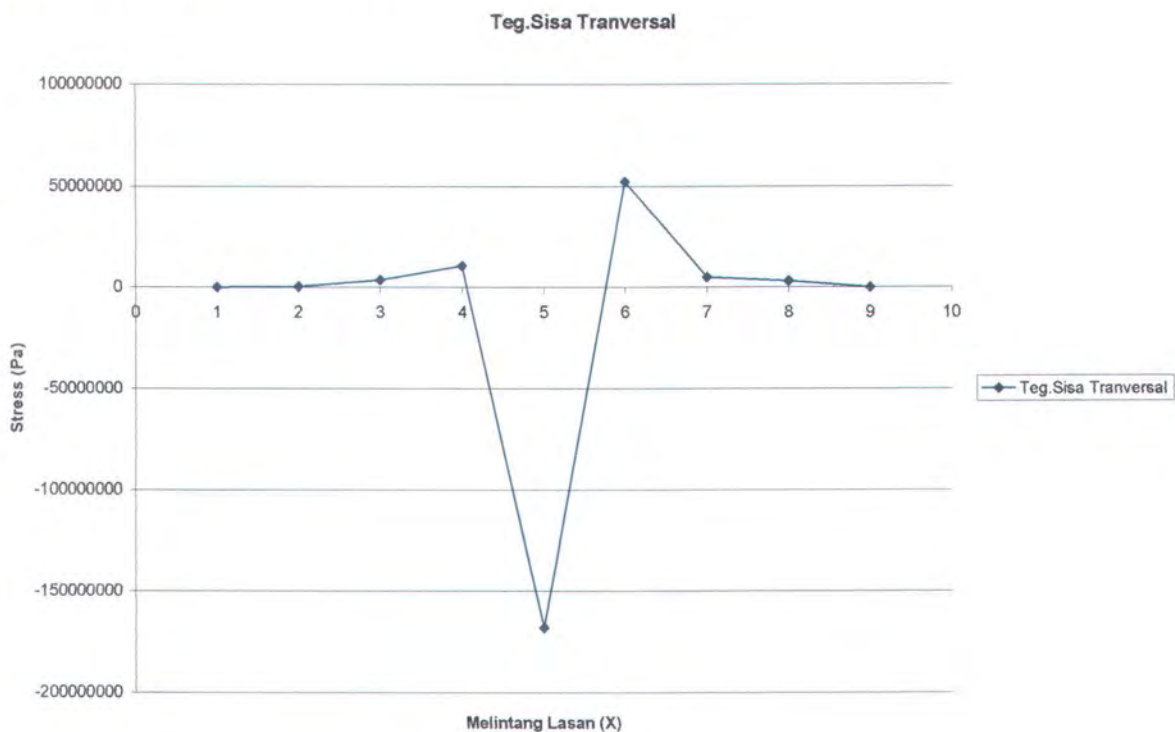
## Pengelasan Variasi III

### 1. Siklus Panas



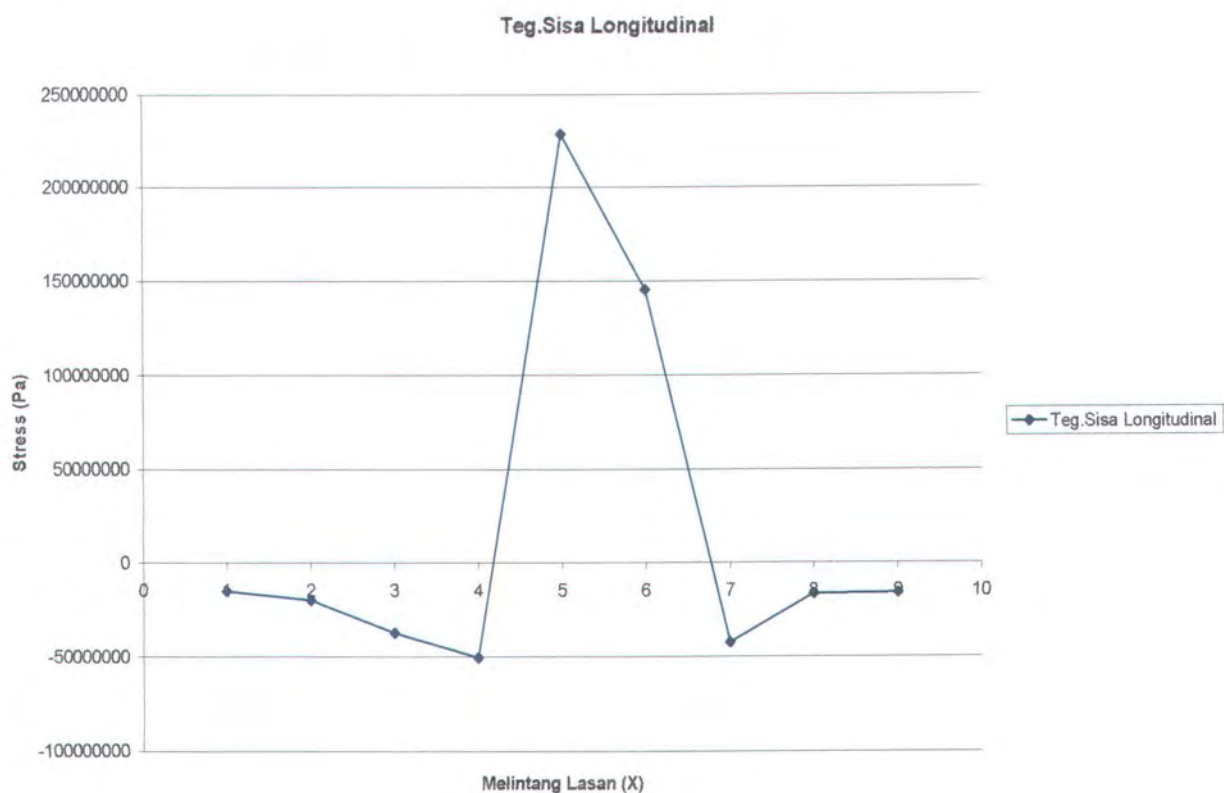
Gambar siklus panas pada 5 node plat bagian atas secara acak dalam HAZ menurut fungsi waktu

### 2. Tegangan Sisa Transversal

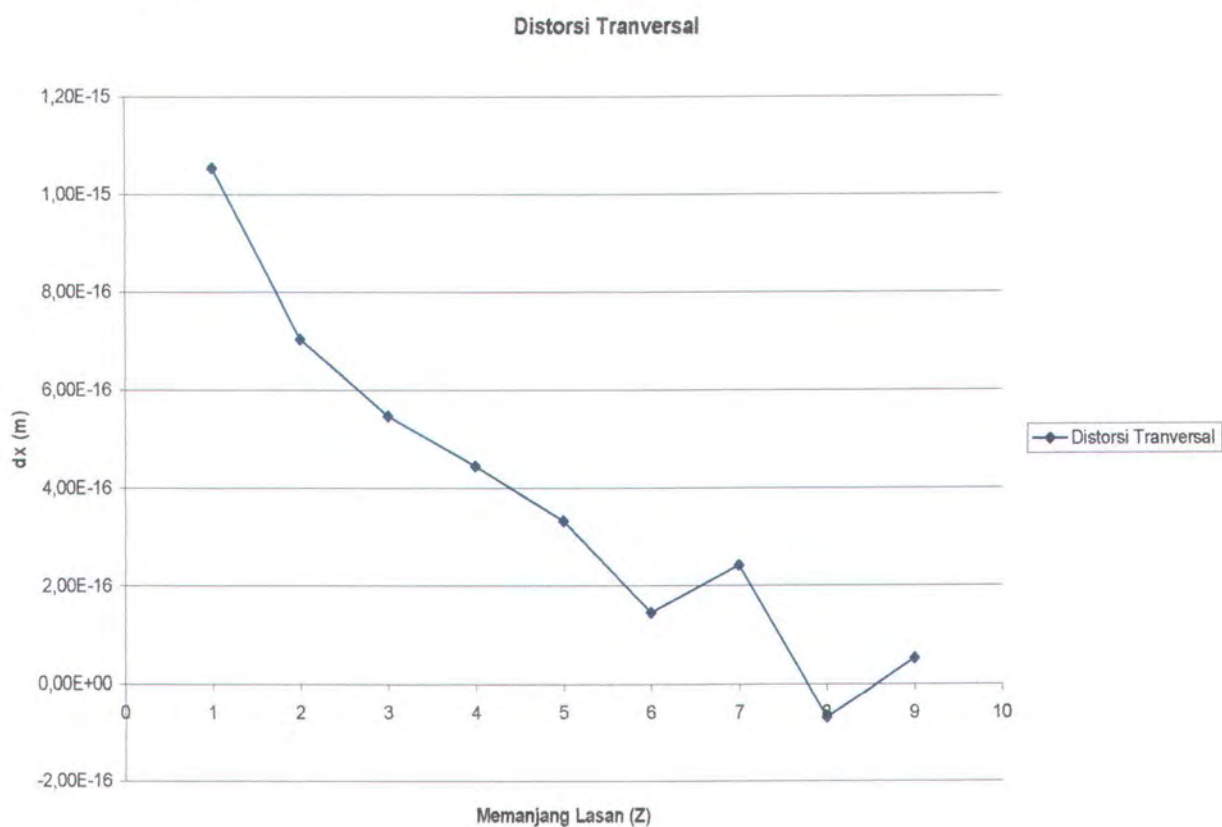




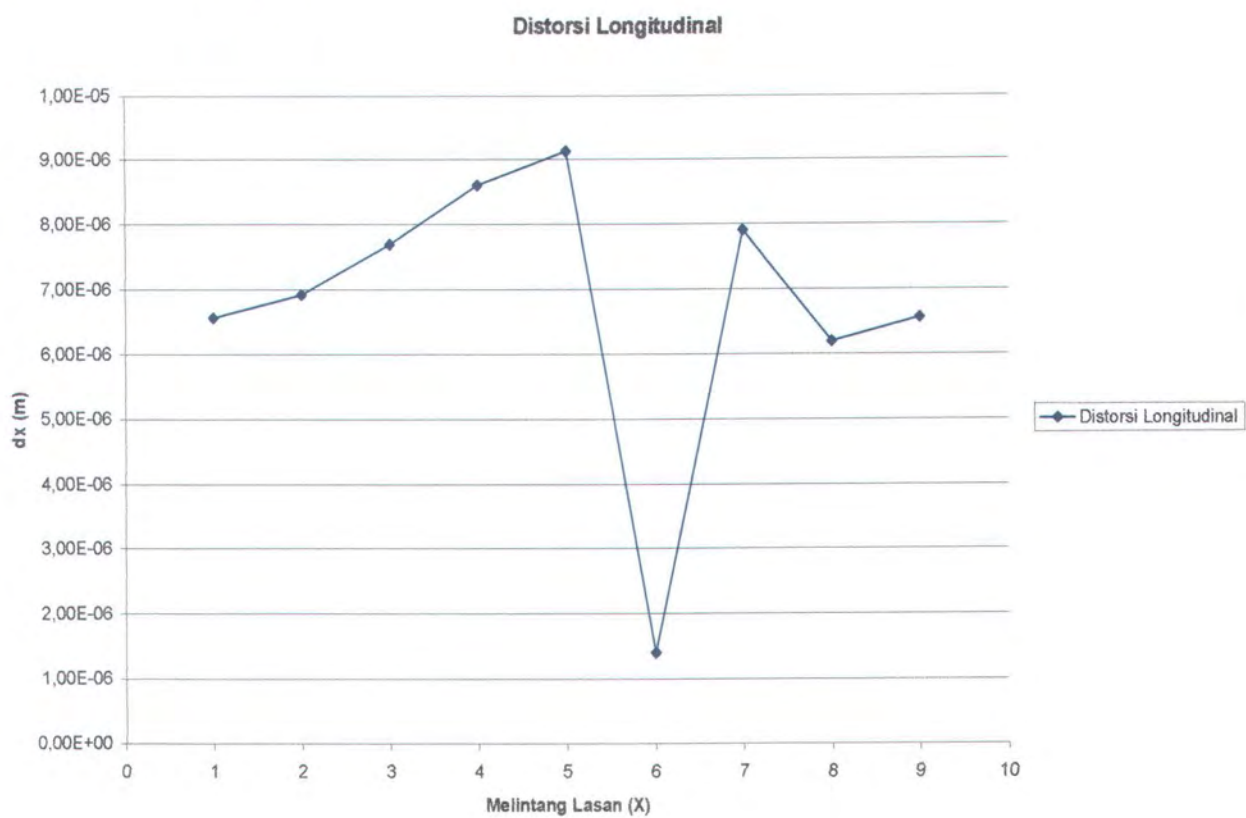
### 3. Tegangan Sisa Longitudinal



### 4. Distorsi Transversal



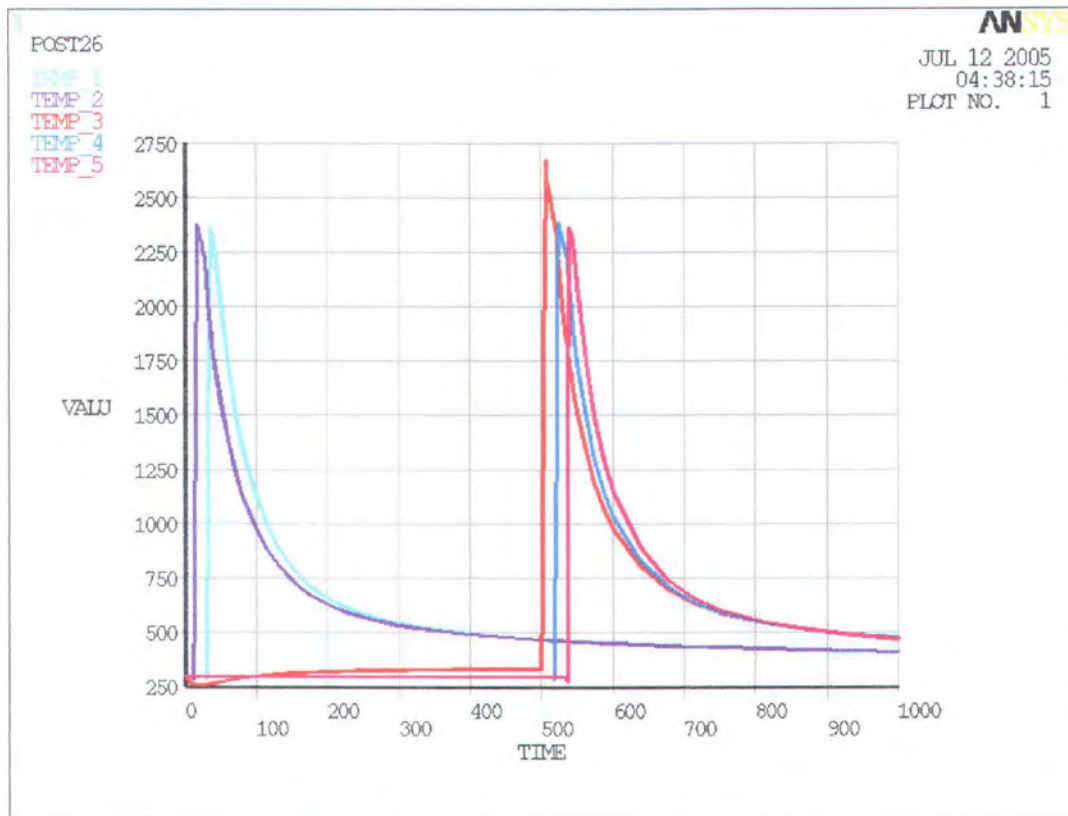
## 5. Distorsi Longitudinal





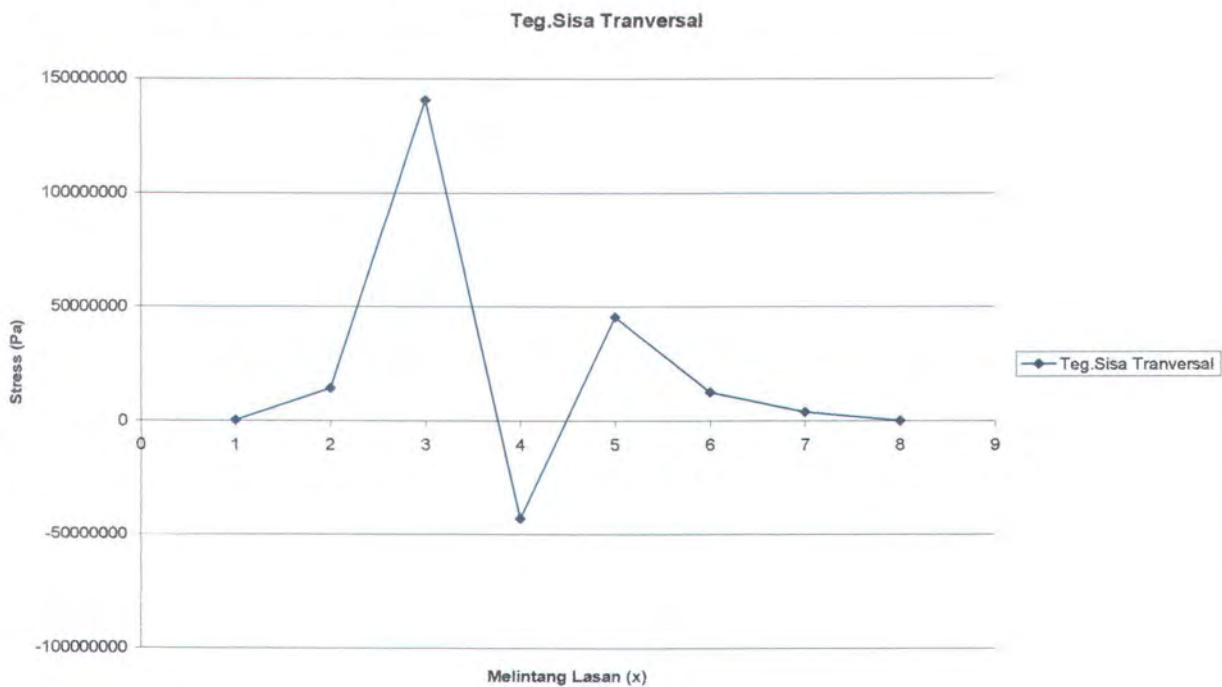
## Pengelasan Variasi IV

### 1. Siklus Panas

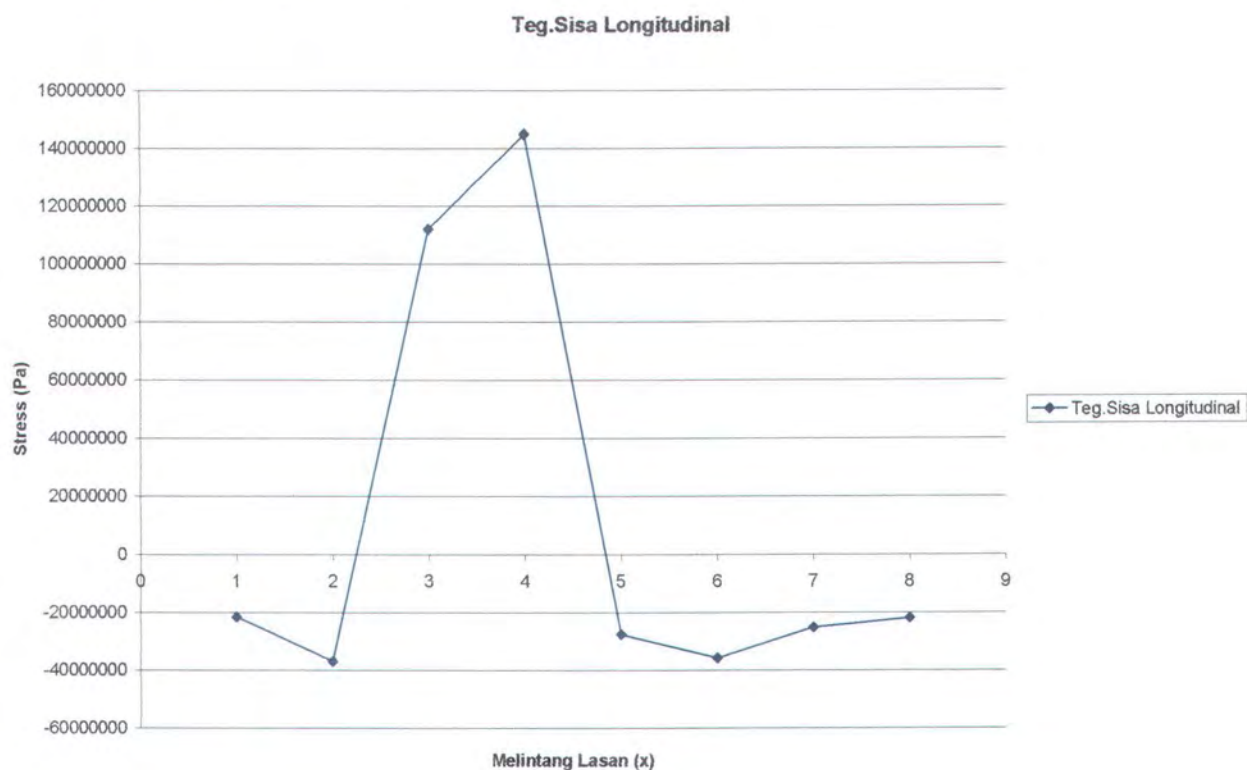


Gambar siklus panas pada 5 node plat bagian atas secara acak dalam HAZ menurut fungsi waktu

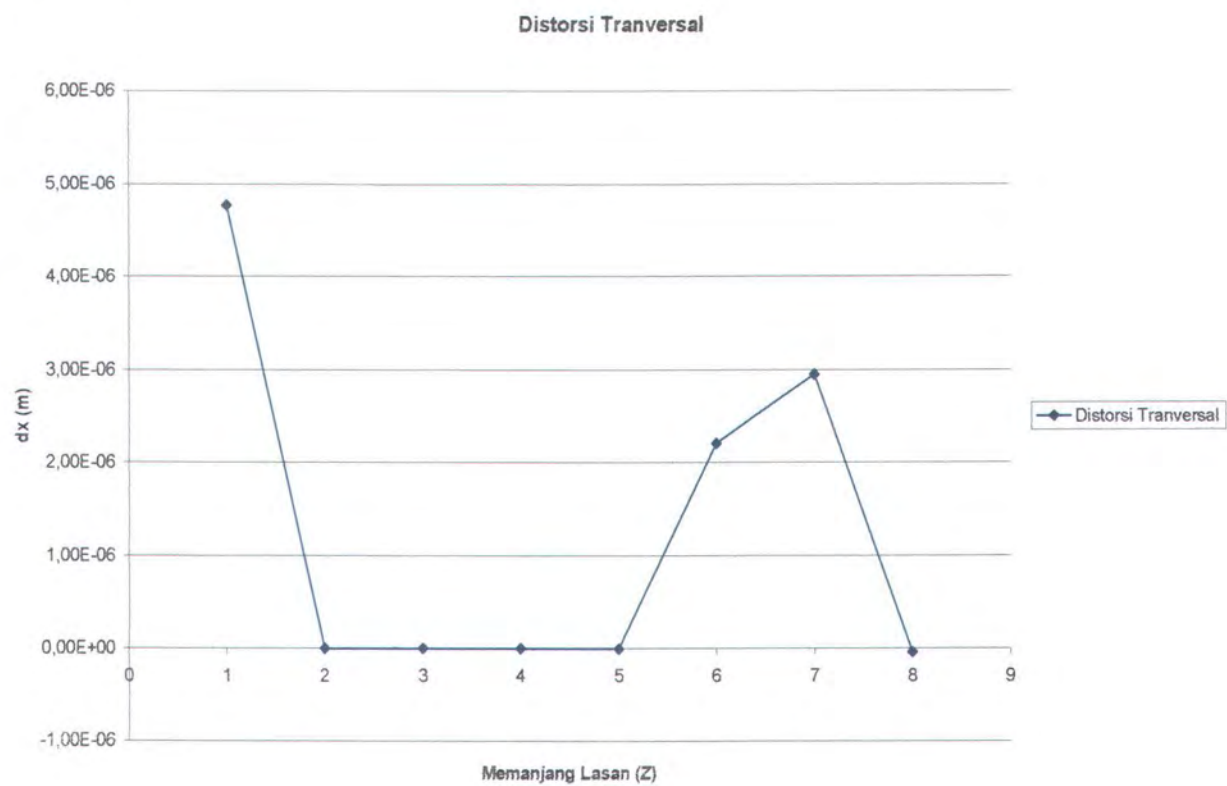
### 2. Tegangan Sisa Transversal



### 3. Tegangan Sisa Longitudinal

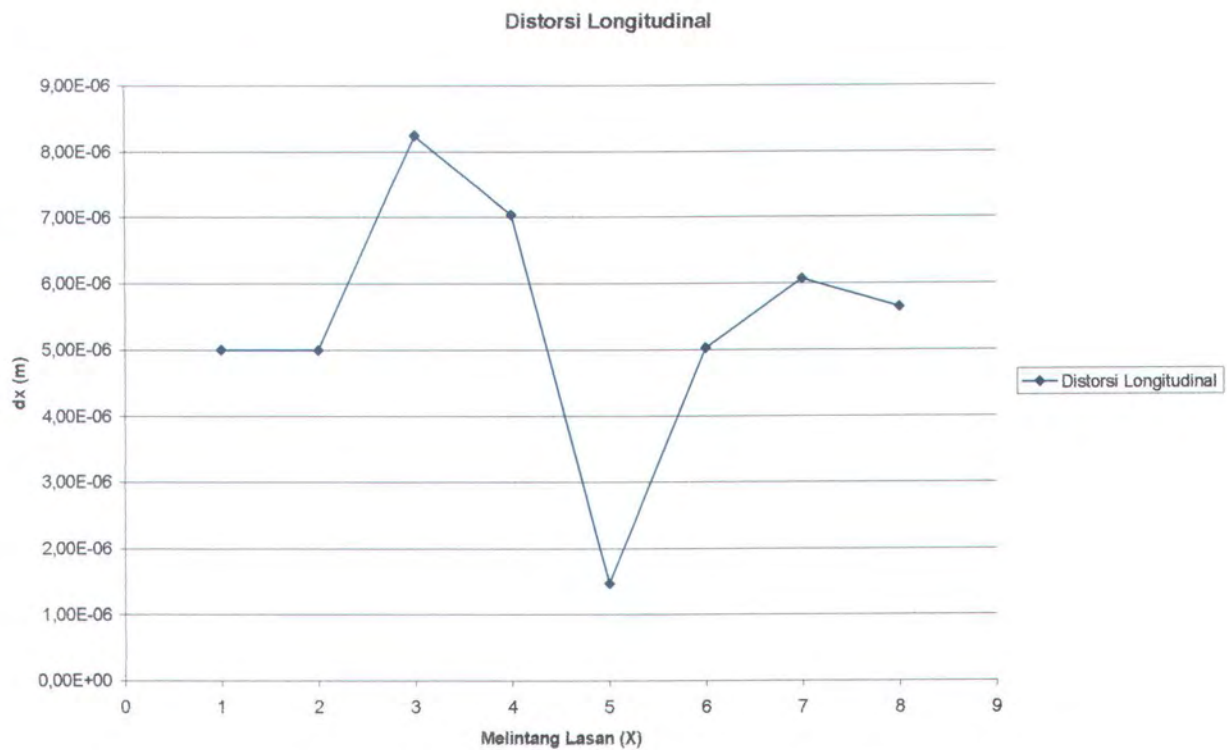


### 4. Distorsi Transversal





## 5. Distorsi Longitudinal





**LAMPIRAN C**  
**INPUT LISTING PROGRAM PEMODELAN**



# **Input Listing** **Pemodelan Geometris** **dan Proses Meshing**

```

/BATCH
/COM,ANSYS RELEASE 6.0
UP20010919 01:46:57
05/14/2005
/input,menust,tmp,'',,,,,,
,,,,,1
/GRAB,POWER
/GST,ON
/PLO,INFO,3
/COL,PBAK,ON,1,BLUE
/GRO,CURL,ON
!*
/NOER
/PMETH,OFF,0
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,1
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULT,1
KEYW,PR_CFD,0
/GO
!*
/COM,
/COM,Preferences for GUI
filtering have been set to
display:
/COM, Structural
/COM, Thermal
!*
/PREP7
!*
ET,1,MESH200
!*
ET,2,SOLID70
!*
KEYOPT,1,1,6
KEYOPT,1,2,0
!*
!*
MAT,1,
! /INPUT,cihuy.SI MPL
/COM,ANSYS RELEASE 6.0
UP20010919 08:19:22
05/11/2005
/NOE
/COM,Internal UNITS set at
file creation time = SI
(MKS)
TBDEL,ALL, MATL
MPDEL,ALL, MATL
MPTEMP,R5.0,12, 1,
273.000000 , 373.000000
, 473.000000
MPTEMP,R5.0,12, 4,
573.000000 , 673.000000
, 773.000000
MPTEMP,R5.0,12, 7,
873.000000 , 973.000000
, 1073.000000
MPTEMP,R5.0,12,10,
1173.000000 , 1273.000000
, 1373.000000
MPDATA,R5.0,12,EX ,_MATL
, 1, 2.060000000E+11,
2.030000000E+11,
2.010000000E+11
MPDATA,R5.0,12,EX ,_MATL
, 4, 2.000000000E+11,
1.650000000E+11,
1.000000000E+11
MPDATA,R5.0,12,EX ,_MATL
, 7, 6.000000000E+10,
4.000000000E+10,
3.000000000E+10

```

```

MPDATA,R5.0,12,EX ,_MATL
,10, 2.000000000E+10,
1.000000000E+10,
1.000000000E+10
MPTEMP,R5.0, 3, 1,
0.00000000 , 1773.00000
, 3273.00000
MPDATA,R5.0, 3,ALPX, MATL
, 1, 1.200000000E-05,
1.400000000E-05,
1.400000000E-05
MPTEMP,R5.0, 5, 1,
300.000000 , 973.000000
, 1273.00000
MPTEMP,R5.0, 5, 4,
1723.00000 , 3273.00000
,
MPDATA,R5.0, 5,DENS, MATL
, 1, 7725.00000
7625.00000 , 7550.00000
MPDATA,R5.0, 5,DENS, MATL
, 4, 7438.00000
7438.00000 ,
MPTEMP,R5.0, 5, 1,
300.000000 , 973.000000
, 1273.00000
MPTEMP,R5.0, 5, 4,
1723.00000 , 3273.00000
,
MPDATA,R5.0, 5,KXX ,_MATL
, 1, 44.6000000
30.7300000 , 27.1200000
MPDATA,R5.0, 5,KXX ,_MATL
, 4, 31.0000000
31.0000000 ,
MPTEMP,R5.0, 5, 1,
300.000000 , 973.000000
, 1273.00000
MPTEMP,R5.0, 5, 4,
1723.00000 , 3273.00000
,
MPDATA,R5.0, 5,C ,_MATL
, 1, 604.860000
894.000000 , 658.410000
MPDATA,R5.0, 5,C ,_MATL
, 4, 814.000000
814.000000 ,
MPTEMP,R5.0, 3, 1,
300.000000 , 1723.00000
, 3273.00000
MPDATA,R5.0, 3,ENTH, MATL
, 1, 7.800000000E-31,
7.970000000E+10,
5.160000000E+11
MPTEMP,R5.0,12, 1,
273.000000 , 373.000000
, 473.000000
MPTEMP,R5.0,12, 4,
573.000000 , 673.000000
, 773.000000
MPTEMP,R5.0,12, 7,
873.000000 , 973.000000
, 1073.00000
MPTEMP,R5.0,12,10,
1173.00000 , 1273.00000
, 1373.00000
MPDATA,R5.0,12,PRXY, MATL
, 1, 0.296000000
0.311000000 ,
0.330000000
MPDATA,R5.0,12,PRXY, MATL
, 4, 0.349000000
0.367000000 ,
0.386000000
MPDATA,R5.0,12,PRXY, MATL
, 7, 0.405000000
0.423000000 ,
0.442000000
MPDATA,R5.0,12,PRXY, MATL
,10, 0.461000000
0.480000000 ,
0.480000000
MPTEMP,R5.0, 3, 1,
0.00000000 , 1773.00000
, 3273.00000
MPDATA,R5.0, 3,REFT, MATL
, 1, 300.000000
300.000000 , 300.000000

```

```

TB,MISO, MATL , 12, 2
TBTEMP, 273.000000 , 1
TBPT,, 1.000000000E-31,
3.45E+8.
TBPT,, 0.100000000 ,
423000000.
TBTEMP, 373.000000 , 2
TBPT,, 1.000000000E-31,
332000000.
TBPT,, 0.100000000 ,
410000000.
TBTEMP, 473.000000 , 3
TBPT,, 1.000000000E-31,
308000000.
TBPT,, 0.100000000 ,
386000000.
TBTEMP, 573.000000 , 4
TBPT,, 1.000000000E-31,
276000000.
TBPT,, 0.100000000 ,
343000000.
TBTEMP, 673.000000 , 5
TBPT,, 1.000000000E-31,
235000000.
TBPT,, 0.100000000 ,
290000000.
TBTEMP, 773.000000 , 6
TBPT,, 1.000000000E-31,
186000000.
TBPT,, 0.100000000 ,
231000000.
TBTEMP, 873.000000 , 7
TBPT,, 1.000000000E-31,
128000000.
TBPT,, 0.100000000 ,
163000000.
TBTEMP, 973.000000 , 8
TBPT,, 1.000000000E-31,
686000000.
TBPT,, 0.100000000 ,
961000000.
TBTEMP, 1073.000000 , 9
TBPT,, 1.000000000E-31,
644000000.
TBPT,, 0.100000000 ,
844000000.
TBTEMP, 1173.000000 , 10
TBPT,, 1.000000000E-31,
457000000.
TBPT,, 0.100000000 ,
607000000.
TBTEMP, 1273.000000 , 11
TBPT,, 1.000000000E-31,
113000000.
TBPT,, 0.100000000 ,
213000000.
TBTEMP, 1373.000000 , 12
TBPT,, 1.000000000E-31,
113000000.
TBPT,, 0.100000000 ,
213000000.
/GO
!*
MPLIST,1
TBLIST,ALL,1
!*
TBDE,MISO,1
TB,MISO,1,12,2
TBTEMP,273
TBPT,,0.0001,3.45E+008
TBPT,,0.1,4.23E+008
TBTEMP,373
TBPT,,0.0001,3.32E+008
TBPT,,0.1,4.1E+008
TBTEMP,473
TBPT,,0.0001,3.08E+008
TBPT,,0.1,3.86E+008
TBTEMP,573
TBPT,,0.0001,2.76E+008
TBPT,,0.1,3.43E+008
TBTEMP,673
TBPT,,0.0001,2.35E+008
TBPT,,0.1,2.9E+008
TBTEMP,773
TBPT,,0.0001,1.86E+008
TBPT,,0.1,2.31E+008
TBTEMP,873

```

```

TBPT,,0.0001,1.28E+008
TBPT,,0.1,1.63E+008
TBTEMP,973
TBPT,,0.0001,6.86E+007
TBPT,,0.1,9.61E+007
TBTEMP,1073
TBPT,,0.0001,6.44E+007
TBPT,,0.1,8.44E+007
TBTEMP,1173
TBPT,,0.0001,4.57E+007
TBPT,,0.1,6.07E+007
TBTEMP,1273
TBPT,,0.0001,1.13E+007
TBPT,,0.1,2.13E+007
TBTEMP,3273
TBPT,,0.0001,1.13E+007
TBPT,,0.1,2.13E+007
+CSSET,1,2,1,2,
MPCOPY,,1,2
TBCOPY,ALL,1,2
!*
MPWRITE,'newest-cihuy',
',' ,LIB,1,
K,,0,0,0,
K,,0,2,0,0,
K,,0,2,0,02,0,
K,,0,0075,0.02,0,
K,,0,0,022,0,
K,,0,0075,0.02,0,
K,,0,2,0,02,0,
K,,0,2,0,0,
/PLOPTS,INFO,3
/PLOPTS,LEG1,1
/PLOPTS,LEG2,1
/PLOPTS,LEG3,1
/PLOPTS,FRAME,1
/PLOPTS,TITLE,1
/PLOPTS,MINM,1
/PLOPTS,FILE,0
/PLOPTS,LOGO,1
/PLOPTS,WINS,1
/PLOPTS,WP,0
/PLOPTS,DATE,2
/TRIAD,LBOT
/REPLOT
!*
LSTR,1,2
LSTR,2,3
LSTR,3,4
LSTR,4,1
LSTR,1,6
LSTR,6,7
LSTR,7,8
LSTR,8,1
FLST,3,3,3
FITEM,3,6
FITEM,3,5
FITEM,3,4
BSPLIN,,P51X
FLST,2,4,4
FITEM,2,4
FITEM,2,3
FITEM,2,1
FITEM,2,2
AL,P51X
FLST,2,4,4
FITEM,2,5
FITEM,2,6
FITEM,2,7
FITEM,2,8
AL,P51X
FLST,2,3,4
FITEM,2,5
FITEM,2,9
FITEM,2,4
AL,P51X
FLST,2,3,5,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-3
AGLUE,P51X
FLST,5,2,5,ORDE,2
FITEM,5,1
FITEM,5,-2
CM,Y,AREA
ASEL,, , ,P51X
CM,Y1,AREA
CMSEL,S,_Y
!*

```

```

CMSEL,S,_Y1
AATT,1, , 1,
0,
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
CM,Y,AREA
ASEL,, , , 3
CM,Y1,AREA
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
AATT,2, , 1,
0,
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
FLST,5,2,4,ORDE,2
FITEM,5,1
FITEM,5,8
CM,Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,20, , , ,1
!*
FLST,5,2,4,ORDE,2
FITEM,5,3
FITEM,5,6
CM,Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,19, , , ,1
!*
/USER,1
/FOC,1,0.623856028190E-
01,0.148619658888E-01,
0.000000000000
/REPLO
FLST,5,5,4,ORDE,5
FITEM,5,2
FITEM,5,4
FITEM,5,-5
FITEM,5,7
FITEM,5,9
CM,Y,LINE
LSEL,, , ,P51X
CM,Y1,LINE
CMSEL,,_Y
!*
LESIZE,_Y1, , ,4, , , ,1
!*
MSHAPE,0,2D
MSHKEY,1
!*
CM,Y,AREA
ASEL,, , , 1
CM,Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
!*
AMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*
CM,Y,AREA
ASEL,, , , 2
CM,Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
!*
AMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*
CM,Y,AREA
ASEL,, , , 3
CM,Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'

```

```

CMSEL,S,_Y
!*
AMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*
/FOC,1,0.338664701018E-
01,0.208034518716E-01,
0.000000000000
/REPLO
TYPE,2
EXTOPT,ESIZE,25,0,
EXTOPT,ACLEAR,1
!*
EXTOPT,ATTR,0,0,0
MAT,1
REAL,Z4
ESYS,0
!*
FLST,2,2,5,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-2
VEXT,P51X, , ,0,0,0.5, , ,
/FOC,1,-0.164811547152E-
01,-0.210738050436E-02,
0.477272018336E-01
/REPLO
/FOC,1,-0.866296705160E-
01,-0.364823601160E-02,
0.122909297475
/REPLO
TYPE,2
EXTOPT,ESIZE,25,0,
EXTOPT,ACLEAR,1
!*
EXTOPT,ATTR,0,0,0
MAT,2
REAL,Z4
ESYS,0
!*
FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,3
VEXT,P51X, , ,0,0,0.5, , ,
/VIEW,1,0.688981312959
,0.433939989038, -
0.580517731260
/ANG,1,12.8598610763
/REPLO
/VIEW,1,-0.418905830014E-
01,0.130409260274, -
0.990574885554
/ANG,1,34.3289848180
/REPLO
FLST,2,3,5,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-3
ACLEAR,P51X
EPLOT
/UI,MESH,OFF
WSORT,Z,0, ,MAX, , ,
NUMMRG,NODE, , , ,LOW
/PNUM,KP,0
/PNUM,LINE,0
/PNUM,AREA,0
/PNUM,VOLU,0
/PNUM,NODE,0
/PNUM,TABN,0
/PNUM,SVAL,0
/NUMBER,0
!*
/PNUM,ELEM,1
/REPLOT
!*
/DIST,1,0.143695189138
/ANG,1,5.83185402387
/REPLO
/DIST,1,0.116173210733
/ANG,1,7.33185402387
/REPLO
/DIST,1,0.971011382051E-
01
/ANG,1,7.93185402387
/REPLO

```



```

/FOC, 1, -0.533722213521E-
02, 0.250097221584E-01,
0.654158590972E-01
/REPLO
EPLOT
/PNUM, KP, 0
/PNUM, LINE, 0
/PNUM, AREA, 0
/PNUM, VOLU, 0
/PNUM, NODE, 1
/PNUM, TABN, 0
/PNUM, SVAL, 0
/NUMBER, 0
!*
/PNUM, ELEM, 0
/REPLOT
!*
/PNUM, KP, 0
/PNUM, LINE, 0
/PNUM, AREA, 0
/PNUM, VOLU, 0
/PNUM, NODE, 0
/PNUM, TABN, 0
/PNUM, SVAL, 0
/NUMBER, 0
!*
/PNUM, ELEM, 0
/REPLOT
!*
FINISH

```

## Input Listing Pembebanan Pengelasan

```

/SOLU
/VIEW, 1, -0.205588246659
, 0.441314748700, -
0.873484267411
/ANG, 1, -1.13159028818
/REPLO
/VIEW, 1, -0.141640689268
, 0.458009811302, -
0.877590410098
/ANG, 1, -2.96837312987
/REPLO
/DIST, 1, 0.762449095292E-
01
/ANG, 1, -2.96837312987
/REPLO
/VIEW, 1, -0.869651259415E-
01, 0.207566533263, -
0.974347577171
/ANG, 1, -4.29447241628
/REPLO
/FOC, 1, -0.528050253744E-
02, 0.411836219393E-01,
0.688563435385E-01
/REPLO
/DIST, 1, 0.633733167572E-
01
/ANG, 1, 2.90552758372
/REPLO
FINISH
/PREP7
WSORT, ALL, 0, , MAX, , ,
FINISH
/SOLU
FINISH
/PREP7
SAVE
!CM, Y1, ELEM
!CHECK, ESEL, WARN
!CMSEL, S, Y1
!CMDELE, Y1
!*
!CM, Y1, ELEM
!CHECK, ESEL, WARN
!CMSEL, S, Y1
!CMDELE, Y1
!*
!CM, Y1, ELEM
!CHECK, ESEL, WARN

```

```

FILE, 'cihuy', 'rth', ' '
!*
SET, 1, LAST, 1,
/EFACE, 4
!*
PLNSOL, TEMP, , 1,
!*
PLNS, TEMP,
ANDATA, 0.5, , 1, 1, 40, 1, 1, 1
!*
/EFACE, 4
!*
PLNSOL, TEMP, , 1,
/PLOPTS, INFO, 3
/PLOPTS, LEG1, 1
/PLOPTS, LEG2, 1
/PLOPTS, LEG3, 1
/PLOPTS, FRAME, 1
/PLOPTS, TITLE, 1
/PLOPTS, MINM, 1
/PLOPTS, FILE, 0
/PLOPTS, LOGO, 1
/PLOPTS, WINS, 1
/PLOPTS, WP, 0
/PLOPTS, DATE, 2
/TRIAD, LBOT
/REPLOT
!*
FINISH

```

## Input Listing Analisis Struktural

```

/SOLU
LDREAD, TEMP, 1, 2, ,
, 'cihuy', 'rth', ' '
OUTPR, ALL, ALL,
/GST, 1, 1
OUTRES, ALL, ALL,
OUTPR, STAT
OUTRES, STAT
AVRES, , FULL
POUTRES, S, NL, EPEL, EPTH, EPPL
,BFE
PGWRITE, ON, 'cihuy', 'pgr', ' '
, 2, 1
SOLCONTROL, OFF, ,
TIME, 3
AUTOTS, 0
NSUBST, 4, 0, 0, 0
KBC, 1
TSRES, ERASE
LSWRITE, 1,
LDREAD, TEMP, 2, 2, ,
, 'cihuy', 'rth', ' '
OUTPR, ALL, ALL,
/GST, 1, 1
OUTRES, ALL, ALL,
OUTPR, STAT
OUTRES, STAT
AVRES, , FULL
POUTRES, S, NL, EPEL, EPTH, EPPL
,BFE
PGWRITE, ON, 'cihuy', 'pgr', ' '
, 2, 1
SOLCONTROL, OFF, ,
TIME, 6
AUTOTS, 0
NSUBST, 4, 0, 0, 0
KBC, 1
TSRES, ERASE
LSWRITE, 2,
LDREAD, TEMP, 3, 2, ,
, 'cihuy', 'rth', ' '
OUTPR, ALL, ALL,
/GST, 1, 1
OUTRES, ALL, ALL,
OUTPR, STAT
OUTRES, STAT
AVRES, , FULL

```

POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1  
SOLCONTROL,OFF,  
TIME,9  
AUTOTS,0  
NSUBST,4,0,0,0  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,3,

LDREAD,TEMP,4,2,  
, 'cihuy','rth',''  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1,1  
OUTRES,ALL,ALL,  
OUTPR,STAT  
OUTRES,STAT  
AVRES,,FULL  
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1  
SOLCONTROL,OFF,  
TIME,12  
AUTOTS,0  
NSUBST,4,0,0,0  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,4,

LDREAD,TEMP,5,2,  
, 'cihuy','rth',''  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1,1  
OUTRES,ALL,ALL,  
OUTPR,STAT  
OUTRES,STAT  
AVRES,,FULL  
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1  
SOLCONTROL,OFF,  
TIME,15  
AUTOTS,0  
NSUBST,4,0,0,0  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,5,

LDREAD,TEMP,6,2,  
, 'cihuy','rth',''  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1,1  
OUTRES,ALL,ALL,  
OUTPR,STAT  
OUTRES,STAT  
AVRES,,FULL  
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1  
SOLCONTROL,OFF,  
TIME,18  
AUTOTS,0  
NSUBST,4,0,0,0  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,6,

LDREAD,TEMP,7,2,  
, 'cihuy','rth',''  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1,1  
OUTRES,ALL,ALL,  
OUTPR,STAT  
OUTRES,STAT  
AVRES,,FULL  
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1  
SOLCONTROL,OFF,  
TIME,21  
AUTOTS,0  
NSUBST,4,0,0,0

KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,7,  
  
LDREAD,TEMP,8,2,  
, 'cihuy','rth',''  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1,1  
OUTRES,ALL,ALL,  
OUTPR,STAT  
OUTRES,STAT  
AVRES,,FULL  
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1  
SOLCONTROL,OFF,  
TIME,24  
AUTOTS,0  
NSUBST,4,0,0,0  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,8,

LDREAD,TEMP,9,2,  
, 'cihuy','rth',''  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1,1  
OUTRES,ALL,ALL,  
OUTPR,STAT  
OUTRES,STAT  
AVRES,,FULL  
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1  
SOLCONTROL,OFF,  
TIME,27  
AUTOTS,0  
NSUBST,4,0,0,0  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,9,

LDREAD,TEMP,10,2,  
, 'cihuy','rth',''  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1,1  
OUTRES,ALL,ALL,  
OUTPR,STAT  
OUTRES,STAT  
AVRES,,FULL  
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1  
SOLCONTROL,OFF,  
TIME,30  
AUTOTS,0  
NSUBST,4,0,0,0  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,10,

LDREAD,TEMP,11,2,  
, 'cihuy','rth',''  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1,1  
OUTRES,ALL,ALL,  
OUTPR,STAT  
OUTRES,STAT  
AVRES,,FULL  
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1  
SOLCONTROL,OFF,  
TIME,33  
AUTOTS,0  
NSUBST,4,0,0,0  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,11,

LDREAD,TEMP,12,2,  
, 'cihuy','rth',''  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1,1

OUTRES,ALL,ALL,  
OUTPR,STAT  
OUTRES,STAT  
AVRES,,FULL  
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1  
SOLCONTROL,OFF,  
TIME,36  
AUTOTS,0  
NSUBST,4,0,0,0  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,12,

LDREAD,TEMP,13,2,  
, 'cihuy','rth',''  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1,1  
OUTRES,ALL,ALL,  
OUTPR,STAT  
OUTRES,STAT  
AVRES,,FULL  
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1  
SOLCONTROL,OFF,  
TIME,39  
AUTOTS,0  
NSUBST,4,0,0,0  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,13,

LDREAD,TEMP,14,2,  
, 'cihuy','rth',''  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1,1  
OUTRES,ALL,ALL,  
OUTPR,STAT  
OUTRES,STAT  
AVRES,,FULL  
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1  
SOLCONTROL,OFF,  
TIME,42  
AUTOTS,0  
NSUBST,4,0,0,0  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,14,

LDREAD,TEMP,15,2,  
, 'cihuy','rth',''  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1,1  
OUTRES,ALL,ALL,  
OUTPR,STAT  
OUTRES,STAT  
AVRES,,FULL  
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1  
SOLCONTROL,OFF,  
TIME,45  
AUTOTS,0  
NSUBST,4,0,0,0  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,15,

LDREAD,TEMP,16,2,  
, 'cihuy','rth',''  
OUTPR,ALL,ALL,  
/GST,1,1  
OUTRES,ALL,ALL,  
OUTPR,STAT  
OUTRES,STAT  
AVRES,,FULL  
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL  
,BFE  
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr','.'  
,2,1



```

SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,48
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,16,

LDREAD,TEMP,17,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,51
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,17,

LDREAD,TEMP,18,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,54
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,18,

LDREAD,TEMP,19,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,57
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,19,

LDREAD,TEMP,20,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,60
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,20,

LDREAD,TEMP,21,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,63
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,21,

LDREAD,TEMP,22,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,66
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,22,

LDREAD,TEMP,23,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,69
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,23,

LDREAD,TEMP,24,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,72
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,24,

LDREAD,TEMP,25,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,75
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,25,

LDREAD,TEMP,26,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,100
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,26,

LDREAD,TEMP,27,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,200
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,27,

LDREAD,TEMP,28,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,400
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,28,

LDREAD,TEMP,29,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,700
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0

```

```

KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,29,

LDREAD,TEMP,30,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPTH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,1100
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,30,

LDREAD,TEMP,31,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPTH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,1600
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,31,

LDREAD,TEMP,32,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPTH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,2500
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,32,

LDREAD,TEMP,33,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPTH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,4500
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,33,

LDREAD,TEMP,34,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1

```

```

OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPTH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,7500
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,34,

LDREAD,TEMP,35,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPTH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,10000
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,35,

LDREAD,TEMP,36,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPTH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,12000
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,36,

LDREAD,TEMP,37,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPTH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,13000
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,37,

LDREAD,TEMP,38,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPTH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1

```

```

SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,14000
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,38,

LDREAD,TEMP,39,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPTH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,15000
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,39,

LDREAD,TEMP,40,2, ,
,'cihuy','rth',' '
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1,1
OUTRES,ALL,ALL,
OUTPR,STAT
OUTRES,STAT
AVRES,,FULL
POUTRES,S,NL,EPEL,EPTH,EPPL
,BFE
PGWRITE,ON,'cihuy','pgr',' '
',2,1
SOLCONTROL,OFF, ,
TIME,15500
AUTOTS,0
NSUBST,4,0,0,0
KBC,1
TSRES,ERASE
LSWRITE,40,

SAVE
FINISH
! /EXIT,ALL

```







**LAMPIRAN D**  
**OUTPUT PROGRAM HASIL PEMODELAN**

## Pengelasan variasi I Distorsi

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 40 SUBSTEP= 4  
TIME= 15500. LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
2998	-0.32311E-04	-0.68102E-05	-0.28473E-04	0.43602E-04
2999	-0.34897E-04	-0.22792E-04	-0.28850E-04	0.50691E-04
3000	-0.36756E-04	-0.39891E-04	-0.26171E-04	0.60227E-04
3001	-0.38583E-04	-0.55997E-04	-0.23541E-04	0.71962E-04
3002	-0.40072E-04	-0.70977E-04	-0.20249E-04	0.83985E-04
3003	-0.41259E-04	-0.84243E-04	-0.16875E-04	0.95310E-04
3004	-0.42138E-04	-0.95594E-04	-0.13354E-04	0.10532E-03
3005	-0.42756E-04	-0.10481E-03	-0.98594E-05	0.11362E-03
3006	-0.43149E-04	-0.11178E-03	-0.63852E-05	0.11999E-03
3007	-0.43362E-04	-0.11644E-03	-0.29786E-05	0.12429E-03
3008	-0.43427E-04	-0.11875E-03	0.37333E-06	0.12644E-03
3009	-0.43372E-04	-0.11869E-03	0.36672E-05	0.12642E-03
3010	-0.43214E-04	-0.11628E-03	0.69233E-05	0.12424E-03
3011	-0.42961E-04	-0.11152E-03	0.10143E-04	0.11994E-03
3012	-0.42616E-04	-0.10447E-03	0.13351E-04	0.11361E-03
3013	-0.42169E-04	-0.95191E-04	0.16518E-04	0.10542E-03
3014	-0.41610E-04	-0.83779E-04	0.19676E-04	0.95590E-04
3015	-0.40912E-04	-0.70434E-04	0.22689E-04	0.84555E-04
3016	-0.40084E-04	-0.55332E-04	0.25659E-04	0.72985E-04
3017	-0.39065E-04	-0.39015E-04	0.28055E-04	0.61930E-04
3018	-0.38139E-04	-0.21611E-04	0.30591E-04	0.53455E-04
3019	-0.36416E-04	-0.51362E-05	0.30216E-04	0.47598E-04
3020	-0.39260E-04	0.12149E-04	0.33751E-04	0.53180E-04
3021	-0.19401E-05	-0.38960E-04	0.11947E-05	0.39027E-04
3022	-0.21603E-05	-0.84740E-04	0.41816E-05	0.84870E-04
3023	-0.26084E-05	-0.12289E-03	0.42219E-05	0.12299E-03
3024	-0.24326E-05	-0.15044E-03	0.35801E-05	0.15051E-03
3025	-0.25095E-05	-0.17181E-03	0.37036E-05	0.17187E-03
3026	-0.23859E-05	-0.18846E-03	0.38927E-05	0.18852E-03
3027	-0.24318E-05	-0.20127E-03	0.42028E-05	0.20132E-03
3028	-0.23908E-05	-0.21077E-03	0.47051E-05	0.21083E-03
3029	-0.24029E-05	-0.21719E-03	0.53603E-05	0.21727E-03
3030	-0.24026E-05	-0.22074E-03	0.61731E-05	0.22084E-03
3031	-0.24146E-05	-0.22147E-03	0.70785E-05	0.22160E-03
3032	-0.24229E-05	-0.21940E-03	0.80351E-05	0.21956E-03
3033	-0.24325E-05	-0.21452E-03	0.90431E-05	0.21473E-03
3034	-0.24507E-05	-0.20681E-03	0.10078E-04	0.20707E-03

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 40 SUBSTEP= 4  
TIME= 15500. LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
4034	-0.12755E-04	-0.18714E-03	-0.32123E-05	0.18760E-03
4035	-0.12825E-04	-0.20015E-03	-0.17020E-05	0.20056E-03
4036	-0.12857E-04	-0.20982E-03	-0.22100E-06	0.21021E-03
4037	-0.12861E-04	-0.21645E-03	0.13270E-05	0.21683E-03
4038	-0.12829E-04	-0.22021E-03	0.29238E-05	0.22060E-03
4039	-0.12780E-04	-0.22117E-03	0.46068E-05	0.22159E-03
4040	-0.12701E-04	-0.21937E-03	0.63451E-05	0.21983E-03
4041	-0.12590E-04	-0.21479E-03	0.81305E-05	0.21532E-03
4042	-0.12463E-04	-0.20740E-03	0.99622E-05	0.20801E-03
4043	-0.12290E-04	-0.19709E-03	0.11854E-04	0.19783E-03
4044	-0.12031E-04	-0.18377E-03	0.13792E-04	0.18468E-03
4045	-0.11706E-04	-0.16734E-03	0.15807E-04	0.16849E-03
4046	-0.11329E-04	-0.14767E-03	0.17866E-04	0.14918E-03
4047	-0.10930E-04	-0.12460E-03	0.20030E-04	0.12668E-03
4048	-0.10467E-04	-0.97792E-04	0.22307E-04	0.10085E-03
4049	-0.10062E-04	-0.66586E-04	0.24725E-04	0.71737E-04
4050	-0.95850E-05	-0.30119E-04	0.27343E-04	0.41793E-04
4051	-0.92191E-05	0.12625E-04	0.29557E-04	0.33436E-04
4052	-0.88450E-05	0.63147E-04	0.33294E-04	0.71932E-04
4053	-0.26452E-05	-0.42846E-04	-0.11996E-04	0.44573E-04
4054	-0.39142E-05	-0.88608E-04	-0.91426E-05	0.89165E-04
4055	-0.54548E-05	-0.12602E-03	-0.60890E-05	0.12628E-03
4056	-0.58169E-05	-0.15395E-03	-0.40761E-05	0.15412E-03
4057	-0.58601E-05	-0.17530E-03	-0.26189E-05	0.17542E-03
4058	-0.61190E-05	-0.19213E-03	-0.12337E-05	0.19223E-03
4059	-0.61919E-05	-0.20501E-03	-0.52983E-07	0.20510E-03
4060	-0.62523E-05	-0.21458E-03	0.13186E-05	0.21468E-03
4061	-0.62263E-05	-0.22108E-03	0.27164E-05	0.22118E-03
4062	-0.62053E-05	-0.22469E-03	0.42293E-05	0.22482E-03
4063	-0.61665E-05	-0.22550E-03	0.58496E-05	0.22566E-03
4064	-0.61096E-05	-0.22351E-03	0.75144E-05	0.22372E-03
4065	-0.60176E-05	-0.21873E-03	0.92333E-05	0.21900E-03
4066	-0.59456E-05	-0.21111E-03	0.10998E-04	0.21148E-03
4067	-0.58545E-05	-0.20055E-03	0.12793E-04	0.20104E-03
4068	-0.56951E-05	-0.18690E-03	0.14622E-04	0.18756E-03
4069	-0.54948E-05	-0.17008E-03	0.16562E-04	0.17097E-03
4070	-0.51577E-05	-0.14989E-03	0.18587E-04	0.15113E-03

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 40 SUBSTEP= 4  
TIME= 15500. LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
5702	-0.38323E-05	0.22950E-04	-0.17595E-04	0.29172E-04
5703	-0.38964E-05	0.69618E-04	-0.21582E-04	0.72991E-04
5704	0.11342E-16	-0.31685E-04	0.43425E-04	0.53755E-04
5705	-0.23062E-15	-0.70188E-04	0.41630E-04	0.81605E-04
5706	-0.39730E-15	-0.10762E-03	0.31972E-04	0.11227E-03
5707	-0.13083E-14	-0.13677E-03	0.22887E-04	0.13867E-03
5708	-0.44381E-15	-0.15886E-03	0.18854E-04	0.15997E-03
5709	0.16614E-15	-0.17586E-03	0.15708E-04	0.17656E-03
5710	-0.47104E-15	-0.18919E-03	0.13135E-04	0.18965E-03
5711	-0.15071E-15	-0.19899E-03	0.11069E-04	0.19930E-03



```

5712 -0.62103E-16-0.20579E-03 0.93546E-05 0.20600E-03
5713 -0.33461E-15-0.20963E-03 0.78649E-05 0.20977E-03
5714 -0.12421E-15-0.21063E-03 0.64234E-05 0.21073E-03
5715 -0.96070E-16-0.20882E-03 0.51379E-05 0.20888E-03
5716 -0.12264E-15-0.20418E-03 0.37350E-05 0.20422E-03
5717 -0.21931E-15-0.19675E-03 0.24911E-05 0.19677E-03
5718 -0.32994E-17-0.18623E-03 0.65442E-06 0.18623E-03
5719 -0.25177E-15-0.17311E-03-0.10797E-05 0.17311E-03
5720 -0.62737E-16-0.15666E-03-0.23741E-05 0.15668E-03
5721 -0.16140E-15-0.13707E-03-0.42018E-05 0.13713E-03
5722 -0.12290E-15-0.11369E-03-0.56624E-05 0.11383E-03
5723 -0.11658E-15-0.86726E-04-0.78817E-05 0.87084E-04
5724 -0.11298E-15-0.55101E-04-0.10401E-04 0.56075E-04
5725 -0.11306E-15-0.18440E-04-0.14556E-04 0.23493E-04
5726 -0.93819E-16 0.23524E-04-0.17147E-04 0.29110E-04
5727 -0.12415E-15 0.68863E-04-0.24278E-04 0.73018E-04
5728 -0.15858E-05-0.33521E-04 0.42149E-04 0.53876E-04
5729 -0.38336E-05-0.71528E-04 0.40099E-04 0.82091E-04
5730 -0.44241E-05-0.10948E-03 0.30118E-04 0.11363E-03
5731 -0.40281E-05-0.13837E-03 0.22663E-04 0.14027E-03
5732 -0.36540E-05-0.16027E-03 0.17934E-04 0.16131E-03
5733 -0.37800E-05-0.17734E-03 0.15358E-04 0.17804E-03
5734 -0.36321E-05-0.19055E-03 0.12690E-04 0.19101E-03
5735 -0.36902E-05-0.20039E-03 0.10785E-04 0.20071E-03
5736 -0.35837E-05-0.20709E-03 0.91279E-05 0.20733E-03
5737 -0.36044E-05-0.21091E-03 0.76761E-05 0.21108E-03
5738 0.35612E-05-0.21186E-03 0.63493E-05 0.21199E-03

```

#### MAXIMUM ABSOLUTE VALUES

```

NODE      3008      4063      5704      4063
VALUE -0.43427E-04-0.22550E-03 0.43425E-04 0.22566E-03

```

## Tegangan Sisa

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*

PowerGraphics Is Currently Enabled

```

LOAD STEP=    40  SUBSTEP=    4
TIME=      15500.      LOAD CASE=    0
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL    1

```

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SHY	SYZ	SHZ
1376	0.24051E+09	0.35031E+07-0.47392E+08-0.11934E+08-0.33228E+07	0.21849E+08			
1377	0.22008E+09	0.34019E+07-0.54377E+08-0.11816E+08-0.35277E+07	0.28471E+08			
1378	0.16642E+08	0.32190E+07-0.66186E+08-0.11418E+08-0.38202E+07	0.39412E+08			
1379	0.60833E+07	0.49963E+07-0.75727E+08-0.95006E+07-0.33694E+07	0.62078E+08			
1380	-0.40316E+08	-61728.	-0.57063E+08-0.33260E+07-0.27955E+07	0.77260E+08		
1391	0.71664E+08-0.61512E+08	0.10724E+07	0.91273E+07	0.58337E+07-0.81979E+08		
1382	0.12030E+09-0.65946E+08	0.31482E+08-0.30101E+06-0.45500E+07-0.31847E+08				
1383	0.10103E+09-0.59775E+08	0.70712E+08-0.87302E+06-0.58737E+07-0.40693E+07				
1384	0.96269E+08-0.53513E+08	0.89115E+08-0.20244E+07-0.44426E+07	0.42038E+07			
1385	0.96504E+08-0.50355E+08	0.10097E+09-0.30008E+07-0.38168E+07	0.98894E+07			
1386	0.94298E+08-0.48552E+08	0.10877E+09-0.35645E+07-0.33992E+07	0.12644E+08			

```

1387 0.93267E+08-0.47157E+08 0.11345E+09-0.36318E+07-0.30990E+07 0.13848E+08
1388 0.92043E+08-0.46370E+08 0.11666E+09-0.36954E+07-0.29835E+07 0.15079E+08
1389 0.91233E+08-0.45758E+08 0.11892E+09-0.36247E+07-0.29191E+07 0.15773E+08
1390 0.90625E+08-0.45426E+08 0.12049E+09-0.36692E+07-0.28326E+07 0.16508E+08
1391 0.90408E+08-0.45261E+08 0.12140E+09-0.37045E+07-0.27178E+07 0.17054E+08
1392 0.90255E+08-0.45204E+08 0.12189E+09-0.37448E+07-0.25902E+07 0.17686E+08
1393 0.90210E+08-0.45330E+08 0.12176E+09-0.37375E+07-0.25785E+07 0.18319E+08
1394 0.89685E+08-0.45642E+08 0.12116E+09-0.35802E+07-0.26543E+07 0.19249E+08
1395 0.89411E+08-0.45952E+08 0.12064E+09-0.33341E+07-0.27014E+07 0.20238E+08
1396 0.90488E+08-0.46302E+08 0.11997E+09-0.35487E+07-0.25946E+07 0.21646E+08
1397 0.91839E+08-0.46775E+08 0.11919E+09-0.37351E+07-0.24671E+07 0.23258E+08
1398 0.94230E+08-0.47257E+08 0.11787E+09-0.40450E+07-0.24502E+07 0.25100E+08
1399 0.96375E+08-0.48128E+08 0.11524E+09-0.42390E+07-0.25474E+07 0.27382E+08
1400 0.97858E+08-0.49657E+08 0.10998E+09-0.40814E+07-0.27254E+07 0.30717E+08
1401 0.98680E+08-0.52010E+08 0.99985E+08-0.35575E+07-0.36282E+07 0.36660E+08
1402 0.96887E+08-0.55352E+08 0.82519E+08-0.27445E+07-0.46629E+07 0.47101E+08
1403 0.84368E+08-0.58159E+08 0.53960E+08 0.83357E+06-0.67516E+07 0.70503E+08
1404 0.19391E+08-0.47515E+08 0.68217E+07 0.30733E+07-0.14679E+08 0.10593E+09
2845 -0.17246E+09 0.17792E+08 0.13710E+09 0.13669E+08-0.10821E+08-0.12514E+09
2846 -0.17072E+09-0.13251E+08-0.97088E+07 0.46637E+08-0.19097E+08-0.33558E+08
2847 -0.20401E+09-0.64407E+08-0.30875E+08 0.48798E+08-0.30090E+08-0.59660E+08
2848 -0.21184E+09-0.60907E+08 0.34908E+08 0.15824E+08-0.29200E+08-0.87093E+08
2849 0.58420E+07 0.87476E+07 0.45251E+07 0.49959E+07-0.34835E+07-0.91468E+07
2850 -0.19353E+09-0.95378E+07-0.64338E+07 0.22529E+08-0.19691E+08-0.14015E+09

```

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*

```

LOAD STEP=    40  SUBSTEP=    4
TIME=      15500.      LOAD CASE=    0
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL    2

```

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SHY	SYZ	SHZ
2969	0.58118E+08	0.75081E+08	0.38476E+09-0.35745E+08-0.13670E+07-0.38867E+08			
2970	0.80449E+08	0.77216E+08	0.35232E+09-0.35194E+08 0.30877E+06-0.38404E+08			
2971	0.77954E+08	0.38070E+08	0.31224E+09-0.20568E+08 0.10658E+08-0.36934E+08			
2972	0.41722E+08	0.81493E+07	0.29420E+09-0.22564E+08 0.59880E+07-0.58537E+08			
5451	-0.17206E+09	0.11913E+08	0.15051E+09-0.26671E+08-0.18712E+08-0.60425E+08			
5452	-0.19354E+09	0.16012E+08	0.14027E+09 0.12142	-0.10126E+08	0.12665E-01	
5453	-0.17200E+09	0.11913E+08	0.15051E+09 0.26671E+08-0.18712E+08	0.60425E+08		
5457	-0.25210E+09	0.78919E+08	0.10828E+09 0.49494	-0.27495E+07	0.12234E-01	
5458	-0.16633E+09	0.16219E+09	0.18813E+09-0.36270E+08-0.30587E+07-0.24748E+08			
5459	-0.23425E+09	0.67825E+08	0.13847E+09-0.89234E-01-0.70400E+07	0.42509		
5460	-0.16633E+09	0.16219E+09	0.18813E+09 0.36270E+08-0.30587E+07	0.24748E+08		
5461	-0.85394E+08	0.24433E+09	0.28580E+09-0.95757E-01-0.99764E+07-0.49095E-01			
5462	-0.19852E+09	0.66852E+08	0.12725E+09-0.50126E+08-0.89223E+07-0.30305E+08			
5463	-0.19852E+09	0.66852E+08	0.12725E+09 0.50126E+08-0.89223E+07	0.30305E+08		
5680	0.41717E+08-0.27331E+07	0.10609E+09	0.79971E+07	0.83947E+07	0.35799E+07	
5681	0.23744E+08-0.17827E+07	0.22200E+09-0.10333E+08	0.95433E+07-0.41588E+07			
5682	-0.13478E+08-0.17116E+07	0.29322E+09-0.19351E+08	0.10478E+08-0.58975E+07			
5683	-0.13022E+08-0.34238E+07	0.33080E+09-0.21595E+08	0.58424E+07-0.11625E+08			
5684	-0.97896E+07-0.27190E+07	0.33645E+09-0.19668E+08	0.43672E+07-0.13942E+08			
5685	-0.85212E+07-0.25638E+06	0.33879E+09-0.20289E+08	0.41307E+07-0.13348E+08			
5686	-0.79542E+07-0.27278E+06	0.33926E+09-0.20286E+08	0.38476E+07-0.13660E+08			
5687	-0.78365E+07	0.48885E+06	0.33984E+09-0.20316E+08	0.36955E+07-0.13609E+08		
5688	-0.70447E+07	0.60891E+06	0.34028E+09-0.20187E+08	0.36292E+07-0.14076E+08		



5689 -0.70469E+07 0.63113E+06 0.34022E+09-0.20242E+08 0.36576E+07-0.14369E+08  
 5690 -0.63751E+07 0.79830E+06 0.34048E+09-0.20257E+08 0.36575E+07-0.14909E+08  
 5691 -0.59726E+07 0.85538E+06 0.34052E+09-0.20135E+08 0.37070E+07-0.15557E+08  
 5692 -0.43297E+07 0.84754E+06 0.34129E+09-0.19456E+08 0.37182E+07-0.16182E+08  
 5693 -0.26990E+07 0.90459E+06 0.34200E+09-0.18768E+08 0.34954E+07-0.16993E+08  
 5694 -0.11911E+07 0.84478E+06 0.34226E+09-0.17129E+08 0.24617E+07-0.19487E+08  
 5695 -0.13422E+06-0.17513E+07 0.34107E+09-0.15104E+08 0.20237E+07-0.21719E+08  
 5696 0.95162E+07-0.12259E+07 0.32377E+09-0.12229E+08 0.27841E+07-0.24030E+08  
 5697 0.20400E+08 0.12886E+07 0.29987E+09-0.10320E+08 0.38965E+07-0.25580E+08  
 5698 0.27350E+08 0.28878E+07 0.28204E+09-0.81030E+07 0.51624E+07-0.26394E+08  
 5699 0.27963E+08 0.54037E+06 0.27353E+09-0.72111E+07 0.57304E+07-0.26110E+08  
 5700 0.32656E+08-0.23968E+06 0.27177E+09-0.62679E+07 0.70482E+07-0.27382E+08  
 5701 0.39561E+08-0.70004E+06 0.27276E+09-0.50468E+07 0.83466E+07-0.25242E+08

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 40 SUBSTEP= 4  
 TIME= 15500. LOAD CASE= 0  
 NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL 2

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SXZ
1	-0.10392E+09	0.68558E+08	0.58078E+08	0.45755E+08-0.53680E+08-0.41225E+08		
2	-0.21346E+09	0.11754E+09	0.10621E+09-0.28585E+02	0.14416E+08-0.13308E+01		
3	-0.86524E+08-0.13013E+08	0.81952E+08	0.17109E+08-0.20151E+08-0.20093E+08			
4	-0.19834E+09-0.15217E+08	0.12497E+09	0.78292E+07	0.40266E+08-0.56774E+08		
5	-0.21758E+09	0.10105E+09	0.10675E+09-0.58547E+08	0.27444E+08-0.36369E+08		
106	-0.10392E+09	0.68558E+08	0.58078E+08-0.45755E+08-0.53680E+08	0.41225E+08		
107	-0.21758E+09	0.10105E+09	0.10675E+09	0.58547E+08	0.27444E+08	0.36369E+08
108	-0.19834E+09-0.15217E+08	0.12497E+09	0.78292E+07	0.40266E+08	0.56774E+08	
109	-0.86524E+08-0.13013E+08	0.81952E+08-0.17109E+08-0.20151E+08	0.20093E+08			
210	-0.10066E+09	0.46401E+06	0.57073E+08-0.16638E+08	0.75129E+07	0.11244E+08	
211	-0.13322E+09-0.86671E+07	0.33227E+08-0.18127E+01	0.12956E+08	0.13587E+01		
212	-0.10066E+09	0.46401E+06	0.57073E+08	0.16638E+08	0.75129E+07-0.11244E+08	
213	-0.10300E+09	0.44332E+08	0.35955E+08-0.16431	0.22412E+08-0.85317E+02		
214	-0.94319E+08	0.14059E+09	0.14749E+09-0.43012E+08	0.22359E+08	0.11959E+08	
215	-0.93678E+08	0.48655E+08	0.42689E+08	0.18603	0.19789E+08	0.76349E+02
216	-0.94319E+08	0.14059E+09	0.14749E+09	0.43012E+08	0.22359E+08-0.11959E+08	
217	-0.13171E+09	0.20207E+09	0.22543E+09	0.36291E+01	0.21028E+08	0.12882
218	-0.64261E+08	0.30182E+08	0.92986E+08-0.34597E+08	0.22679E+08	0.12640E+08	
219	-0.64261E+08	0.30182E+08	0.92986E+08	0.34597E+08	0.22679E+08-0.12640E+08	
220	-0.18501E+09-0.26343E+08	0.16943E+09	0.10226E+08-0.14558E+08	0.92989E+08		
221	-0.23002E+09	0.44529E+07	0.43835E+08	0.13150E+03-0.87328E+07	0.33079E+04	
222	-0.24148E+09	0.72679E+07	0.95079E+08	0.72141E+08	0.14539E+07	0.52443E+08
223	-0.19465E+09	0.34319E+08	0.12122E+09-0.16326E+07-0.26698E+08	0.66617E+08		
224	-0.18077E+09	0.11320E+09	0.16884E+09-0.58230E+08-0.15677E+08	0.39392E+08		
397	0.38441E+08	0.12006E+09	0.18045E+09	0.21794E+08-0.47608E+07-0.32802E+08		
398	0.58135E+08	0.85891E+08	0.34297E+09	0.56121E+08-0.18048E+07	0.75521E+07	
399	0.45218E+08	0.81564E+08	0.35556E+09	0.57826E+08	0.45875E+07	0.11414E+08
400	0.43743E+08	0.73328E+08	0.36880E+09	0.54759E+08	0.43047E+07	0.21179E+08
401	0.44248E+08	0.70008E+08	0.37648E+09	0.49825E+08	0.32626E+07	0.23654E+08
402	0.41751E+08	0.66020E+08	0.37771E+09	0.47730E+08	0.38530E+07	0.23332E+08
403	0.41142E+08	0.63367E+08	0.37829E+09	0.46242E+08	0.42373E+07	0.23927E+08
404	0.39807E+08	0.60629E+08	0.37797E+09	0.44946E+08	0.44114E+07	0.24009E+08
405	0.39274E+08	0.58861E+08	0.37787E+09	0.43578E+08	0.43858E+07	0.24353E+08
406	0.38607E+08	0.57143E+08	0.37755E+09	0.42492E+08	0.43868E+07-0.24544E+08	

407 0.38699E+08 0.56417E+08 0.37775E+09 0.41604E+08 0.42481E+07 0.24673E+08  
 408 0.38455E+08 0.55861E+08 0.37773E+09 0.40802E+08 0.38714E+07 0.24844E+08

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 40 SUBSTEP= 4  
 TIME= 15500. LOAD CASE= 0  
 NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL 2

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SXZ
409	0.39207E+08	0.56758E+08	0.37851E+09	0.40167E+08	0.35274E+07	0.25287E+08
410	0.40367E+08	0.57787E+08	0.37929E+09	0.39600E+08	0.29652E+07	0.26037E+08
411	0.39872E+08	0.59335E+08	0.37926E+09	0.38150E+08	0.18075E+07	0.27796E+08
412	0.42864E+08	0.61987E+08	0.38158E+09	0.36024E+08	0.41519E+06	0.29334E+08
413	0.44463E+08	0.65532E+08	0.38293E+09	0.34231E+08-0.12653E+07	0.30603E+08	
414	0.46937E+08	0.67468E+08	0.38438E+09	0.33974E+08-0.23156E+07	0.31057E+08	
415	0.48557E+08	0.68610E+08	0.38460E+09	0.33614E+08-0.21633E+07	0.32656E+08	
416	0.51315E+08	0.69077E+08	0.38338E+09	0.34377E+08-0.23575E+07	0.34475E+08	
417	0.58118E+08	0.75081E+08	0.38476E+09	0.35745E+08-0.13670E+07	0.38867E+08	
418	0.80449E+08	0.77216E+08	0.35232E+09	0.35194E+08	0.30877E+06	0.38404E+08
419	0.77954E+08	0.38070E+08	0.31224E+09	0.20568E+08	0.10658E+08	0.36934E+08
420	0.41722E+08	0.81493E+07	0.29420E+09	0.22564E+08	0.39880E+07	0.58537E+08
2845	-0.18501E+09-0.26343E+08	0.16943E+09-0.10226E+08-0.14558E+08	0.92989E+08			
2846	-0.18077E+09	0.11320E+09	0.16884E+09	0.58230E+08-0.15677E+08-0.39392E+08		
2847	-0.19465E+09	0.34319E+08	0.12122E+09	0.16326E+07-0.26698E+08	0.66617E+08	
2848	-0.24148E+09	0.72679E+07	0.95079E+08-0.72141E+08	0.14539E+07-0.52443E+08		
2949	0.38441E+08	0.12006E+09	0.18045E+09-0.21794E+08-0.47608E+07	0.32802E+08		
2950	0.58135E+08	0.85891E+08	0.34297E+09-0.56121E+08-0.18048E+07	0.75521E+07		
2951	0.45218E+08	0.81564E+08	0.35556E+09-0.57826E+08	0.45875E+07-0.11414E+08		
2952	0.43743E+08	0.73328E+08	0.36880E+09-0.54759E+08	0.43047E+07-0.21179E+08		
2953	0.44248E+08	0.70008E+08	0.37648E+09-0.49825E+08	0.32626E+07-0.23654E+08		
2954	0.41751E+08	0.66020E+08	0.37771E+09-0.47730E+08	0.38530E+07-0.23332E+08		
2955	0.41142E+08	0.63367E+08	0.37829E+09-0.46242E+08	0.42373E+07-0.23927E+08		
2956	0.39807E+08	0.60629E+08	0.37797E+09-0.44946E+08	0.44114E+07-0.24009E+08		
2957	0.39274E+08	0.58861E+08	0.37787E+09-0.43578E+08	0.43858E+07-0.24353E+08		
2958	0.38607E+08	0.57143E+08	0.37755E+09-0.42492E+08	0.43868E+07-0.24544E+08		
2959	0.38699E+08	0.56417E+08	0.37775E+09-0.41604E+08	0.42481E+07-0.24673E+08		
2960	0.38455E+08	0.55861E+08	0.37773E+09-0.40802E+08	0.38714E+07-0.24844E+08		
2961	0.39207E+08	0.56758E+08	0.37851E+09-0.40167E+08	0.35274E+07-0.25287E+08		
2962	0.40367E+08	0.57787E+08	0.37929E+09-0.39600E+08	0.29652E+07-0.26037E+08		
2963	0.39872E+08	0.59335E+08	0.37926E+09-0.38150E+08	0.18075E+07-0.27796E+08		
2964	0.42864E+08	0.61987E+08	0.38158E+09-0.36024E+08	0.41519E+06-0.29334E+08		
2965	0.44463E+08	0.65532E+08	0.38293E+09-0.34231E+08-0.12653E+07	0.30603E+08		
2966	0.46937E+08	0.67468E+08	0.38438E+09-0.33974E+08-0.23156E+07	0.31057E+08		
2967	0.48557E+08	0.68610E+08	0.38460E+09-0.33614E+08-0.21633E+07	0.32656E+08		
2968	0.51315E+08	0.69077E+08	0.38338E+09-0.34377E+08-0.23575E+07	0.34475E+08		

MINIMUM VALUES

NODE	5457	225	225	2848	6	2850
VALUE	-0.25210E+09-0.10126E+09-0.27097E+09-0.72141E+08-0.87967E+08-0.14015E+09					

MAXIMUM VALUES

NODE	1382	5461	416	222	225	267
VALUE	0.12030E+09	0.24433E+09	0.39534E+09	0.72141E+08	0.86747E+08	0.14015E+09



## Pengelasan variasi II

### Distorsi

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4  
TIME= 17500. LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
186	-0.29094E-04	0.20985E-04	-0.30372E-04	0.47003E-04
187	-0.31976E-04	0.20825E-04	-0.31145E-04	0.49256E-04
188	-0.35035E-04	0.21097E-04	-0.31679E-04	0.51731E-04
189	-0.38504E-04	0.21725E-04	-0.31592E-04	0.54338E-04
190	-0.41442E-04	0.23301E-04	-0.30679E-04	0.56582E-04
191	-0.50233E-05	0.51621E-04	0.23720E-04	0.57031E-04
192	0.31370E-06	0.49520E-04	0.15314E-04	0.51835E-04
193	0.67570E-06	0.44860E-04	0.76187E-05	0.45507E-04
194	-0.33898E-06	0.41765E-04	0.10209E-05	0.41779E-04
195	-0.23329E-05	0.38804E-04	-0.44205E-05	0.39125E-04
196	-0.47306E-05	0.36076E-04	-0.90211E-05	0.37486E-04
197	-0.73710E-05	0.33552E-04	-0.12924E-04	0.36702E-04
198	-0.10121E-04	0.31245E-04	-0.16254E-04	0.36645E-04
199	-0.12915E-04	0.29154E-04	-0.19109E-04	0.37174E-04
200	-0.15708E-04	0.27287E-04	-0.21567E-04	0.38164E-04
201	-0.18474E-04	0.25654E-04	-0.23690E-04	0.39505E-04
202	-0.21200E-04	0.24268E-04	-0.25529E-04	0.41111E-04
203	-0.23883E-04	0.23144E-04	-0.27125E-04	0.42916E-04
204	-0.26530E-04	0.22302E-04	-0.28506E-04	0.44876E-04
205	-0.29156E-04	0.21776E-04	-0.29690E-04	0.46965E-04
206	-0.31791E-04	0.21598E-04	-0.30659E-04	0.49165E-04
207	-0.34507E-04	0.21785E-04	-0.31376E-04	0.51476E-04
208	-0.37153E-04	0.22529E-04	-0.31546E-04	0.53695E-04
209	-0.39538E-04	0.24362E-04	-0.30925E-04	0.55795E-04
210	-0.87787E-05	0.45726E-04	0.28918E-04	0.54810E-04
211	-0.11975E-15	0.46438E-04	0.30247E-04	0.55420E-04
212	0.87787E-05	0.45726E-04	0.28918E-04	0.54810E-04
213	-0.81215E-16	0.59212E-04	0.25733E-04	0.64562E-04
214	-0.84766E-06	0.55975E-04	0.20785E-04	0.59715E-04
215	-0.11014E-15	0.58923E-04	0.24870E-04	0.63957E-04
216	0.84766E-06	0.55975E-04	0.20785E-04	0.59715E-04
217	-0.21632E-16	0.51933E-04	0.16051E-04	0.54357E-04
218	-0.46639E-05	0.56953E-04	0.24592E-04	0.62211E-04
219	0.46639E-05	0.56953E-04	0.24592E-04	0.62211E-04
220	0.11181E-04	0.76842E-04	-0.15876E-04	0.79258E-04
221	0.17265E-16	0.10567E-03	0.10614E-05	0.10567E-03
222	0.17011E-04	0.80339E-04	-0.98010E-05	0.82703E-04

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4  
TIME= 17500. LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
223	0.94409E-05	0.87218E-04	-0.77005E-05	0.88065E-04
224	0.78433E-05	0.93231E-04	-0.13622E-05	0.93570E-04
225	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
226	0.19596E-04	0.96561E-04	0.15085E-04	0.99677E-04
227	0.15119E-04	0.84672E-04	0.21646E-04	0.88693E-04
228	0.14697E-04	0.78605E-04	0.26778E-04	0.84331E-04
229	0.14227E-04	0.73525E-04	0.31330E-04	0.81178E-04
230	0.15449E-04	0.68040E-04	0.34943E-04	0.78033E-04
231	0.17439E-04	0.63138E-04	0.37929E-04	0.75691E-04
232	0.19818E-04	0.58622E-04	0.40362E-04	0.73881E-04
233	0.22484E-04	0.54456E-04	0.42318E-04	0.72538E-04
234	0.25311E-04	0.50642E-04	0.43873E-04	0.71625E-04
235	0.28243E-04	0.47163E-04	0.45080E-04	0.71093E-04
236	0.31237E-04	0.44014E-04	0.45984E-04	0.70905E-04
237	0.34273E-04	0.41192E-04	0.46620E-04	0.71027E-04
238	0.37345E-04	0.38703E-04	0.47013E-04	0.71434E-04
239	0.40463E-04	0.36560E-04	0.47176E-04	0.72107E-04
240	0.43658E-04	0.34777E-04	0.47120E-04	0.73047E-04
241	0.46998E-04	0.33430E-04	0.46769E-04	0.74254E-04
242	0.50592E-04	0.32408E-04	0.46337E-04	0.75874E-04
243	0.54827E-04	0.32995E-04	0.44469E-04	0.77924E-04
244	0.58194E-04	0.28858E-04	0.48153E-04	0.80858E-04
245	0.57038E-04	0.36893E-04	0.40562E-04	0.79119E-04
246	0.60565E-04	0.33425E-04	0.36064E-04	0.78013E-04
247	0.59753E-04	0.34834E-04	0.38863E-04	0.79336E-04
248	0.58166E-04	0.35950E-04	0.40019E-04	0.79229E-04
249	0.55389E-04	0.35231E-04	0.42406E-04	0.78151E-04
250	0.53566E-04	0.34788E-04	0.43300E-04	0.77164E-04
251	0.51372E-04	0.35255E-04	0.43486E-04	0.75981E-04
252	0.49041E-04	0.36284E-04	0.43201E-04	0.74752E-04
253	0.46690E-04	0.37700E-04	0.42684E-04	0.73642E-04
254	0.44374E-04	0.39462E-04	0.41968E-04	0.72716E-04
255	0.42063E-04	0.41566E-04	0.41053E-04	0.71988E-04
256	0.39750E-04	0.43992E-04	0.39921E-04	0.71478E-04
257	0.37444E-04	0.46734E-04	0.38547E-04	0.71218E-04
258	0.35159E-04	0.49791E-04	0.36894E-04	0.71250E-04
259	0.32920E-04	0.53170E-04	0.34916E-04	0.71624E-04

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4  
TIME= 17500. LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
2850	-0.29229E-04	0.97451E-04	-0.75654E-05	0.10202E-03
2851	-0.27329E-04	0.89717E-04	0.36611E-05	0.93859E-04
2852	-0.24951E-04	0.81880E-04	0.11432E-04	0.86357E-04
2853	-0.24723E-04	0.75755E-04	0.17501E-04	0.81587E-04
2854	-0.25547E-04	0.70319E-04	0.22362E-04	0.78087E-04
2855	-0.26972E-04	0.65413E-04	0.26390E-04	0.75517E-04
2856	-0.28754E-04	0.60953E-04	0.29745E-04	0.73667E-04
2857	-0.30766E-04	0.56884E-04	0.32557E-04	0.72404E-04



```

2858 -0.32920E-04 0.53170E-04 0.34916E-04 0.71624E-04
2859 -0.35159E-04 0.49791E-04 0.36894E-04 0.71250E-04
2860 -0.37444E-04 0.46734E-04 0.38547E-04 0.71218E-04
2861 -0.39750E-04 0.43992E-04 0.39921E-04 0.71478E-04
2862 -0.42063E-04 0.41566E-04 0.41053E-04 0.71988E-04
2863 -0.44374E-04 0.39462E-04 0.41968E-04 0.72716E-04
2864 -0.46690E-04 0.37700E-04 0.42684E-04 0.73642E-04
2865 -0.49041E-04 0.36284E-04 0.43201E-04 0.74752E-04
2866 -0.51372E-04 0.35255E-04 0.43486E-04 0.75981E-04
2867 -0.53566E-04 0.34788E-04 0.43300E-04 0.77164E-04
2868 -0.55389E-04 0.35231E-04 0.42406E-04 0.78151E-04
2869 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
2870 -0.58166E-04 0.35950E-04 0.40019E-04 0.79229E-04
2871 -0.59753E-04 0.34834E-04 0.38863E-04 0.79336E-04
2872 -0.60565E-04 0.33425E-04 0.36064E-04 0.78013E-04
2873 -0.58194E-04 0.28858E-04 0.48153E-04 0.80858E-04
2874 -0.54827E-04 0.32995E-04 0.44469E-04 0.77924E-04
2875 -0.50592E-04 0.32408E-04 0.46337E-04 0.75874E-04
2876 -0.46998E-04 0.33430E-04 0.46769E-04 0.74254E-04
2877 -0.43658E-04 0.34777E-04 0.47120E-04 0.73047E-04
2878 -0.40463E-04 0.36560E-04 0.47176E-04 0.72107E-04
2879 -0.37345E-04 0.38703E-04 0.47013E-04 0.71434E-04
2880 -0.34273E-04 0.41192E-04 0.46620E-04 0.71027E-04
2881 -0.31237E-04 0.44014E-04 0.45984E-04 0.70905E-04
2882 -0.28243E-04 0.47163E-04 0.45080E-04 0.71093E-04
2883 -0.25311E-04 0.50642E-04 0.43873E-04 0.71625E-04
2884 -0.22484E-04 0.54456E-04 0.42318E-04 0.72538E-04
2885 -0.19818E-04 0.58622E-04 0.40362E-04 0.73881E-04
2886 -0.17439E-04 0.63138E-04 0.37929E-04 0.75691E-04

```

#### MAXIMUM ABSOLUTE VALUES

```

NODE      246      221      2873      221
VALUE 0.60565E-04 0.10567E-03 0.48153E-04 0.10567E-03

```

## Tegangan Sisa

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*

```

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4
TIME= 17500. LOAD CASE= 0
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL 2

```

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SXZ
1	-0.30602E+09	0.64858E+08	-0.55941E+08	0.13097E+09	-0.28010E+08	-0.44521E+08
2	-0.22017E+09	0.61246E+08	0.12791E+09	0.35662E+08	-0.17865E+07	-0.10245E-03
3	-0.17988E+09	0.68116E+08	0.70550E+08	0.70837E+08	-0.57457E+08	-0.68894E+08
4	-0.13823E+09	0.13328E+09	0.21505E+09	-0.26242E+08	-0.16102E+08	-0.56135E+08
5	-0.23053E+09	0.82638E+08	0.13807E+09	-0.54495E+07	0.74991E+07	-0.18887E+08
106	-0.30602E+09	0.64858E+08	-0.55941E+08	0.13097E+09	-0.28010E+08	0.44521E+08
107	-0.23053E+09	0.82638E+08	0.13807E+09	0.54495E+07	0.74991E+07	0.18887E+08
108	-0.13823E+09	0.13328E+09	0.21505E+09	-0.26242E+08	-0.16102E+08	0.56135E+08
109	-0.17988E+09	0.68116E+08	0.70550E+08	0.70837E+08	-0.57457E+08	0.68894E+08
210	-0.33022E+09	-0.43340E+07	-0.37771E+08	-0.81658E+08	-0.20797E+08	0.18603E+08
211	-0.34371E+09	0.23972E+08	-0.41144E+08	-0.50037	-0.13838E+08	-0.13053E-01

```

212 -0.33022E+09-0.43340E+07-0.37771E+08 0.81658E+08-0.20797E+08-0.18603E+08
213 -0.15067E+09 0.81932E+08 0.17213E+09 0.98282 0.25331E+08 0.24942
214 -0.10850E+09 0.14761E+09 0.21709E+09 0.15596E+08 0.48740E+06 0.37766E+08
215 -0.22172E+09 0.84133E+08 0.15195E+09-0.42434 0.86576E+07-0.69204E-01
216 -0.10850E+09 0.14761E+09 0.21709E+09-0.15596E+08 0.48740E+06-0.37766E+08
217 -0.19060E+09 0.11824E+09 0.16162E+09 0.11445E-01 0.13441E+08 0.72798E-02
218 -0.18968E+09 0.10094E+09 0.13894E+09-0.48613E+08-0.15278E+08 0.35839E+08
219 -0.18968E+09 0.10094E+09 0.13894E+09 0.48613E+08-0.15278E+08-0.35839E+08
220 -0.31283E+09-0.27394E+08 0.47807E+08 0.24802E+08-0.89766E+07 0.63871E+08
221 -0.23217E+09 0.34600E+08 0.16689E+09 0.49485E-05-0.30754E+07-0.60530E-04
222 -0.26871E+09 0.35834E+07 0.11524E+09 0.28821E+07 0.46847E+07 0.31377E+08
223 -0.22751E+09 0.66501E+08 0.15712E+09 0.32090E+07 0.54544E+07 0.19942E+07
224 -0.26246E+09 0.15274E+07 0.13176E+09 0.23247E+08-0.60526E+07-0.32668E+07
397 -0.12262E+09-0.57175E+08-0.54766E+08 0.11739E+09-0.10799E+08-0.43435E+08
398 -0.13663E+09-0.33334E+08 0.45818E+08 0.13075E+09-0.66011E+07 0.52555E+07
399 -0.14501E+09-0.33636E+08 0.12686E+09 0.13693E+09-0.82838E+07 0.12616E+08
400 -0.15243E+09-0.32023E+08 0.15987E+09 0.12336E+09-0.24107E+07 0.98798E+07
401 -0.13974E+09-0.27961E+08 0.18299E+09 0.11471E+09-0.37453E+07 0.13491E+08
402 -0.13549E+09-0.28746E+08 0.19514E+09 0.10802E+09-0.33192E+07 0.12351E+08
403 -0.12916E+09-0.28860E+08 0.20435E+09 0.10434E+09-0.26858E+07 0.12801E+08
404 -0.12606E+09-0.28696E+08 0.21041E+09 0.10108E+09-0.27558E+07 0.12882E+08
405 -0.12362E+09-0.28206E+08 0.21412E+09 0.99464E+08-0.26850E+07 0.12989E+08
406 -0.12215E+09-0.27737E+08 0.21638E+09 0.98465E+08-0.27201E+07 0.13156E+08
407 -0.12110E+09-0.27178E+08 0.21777E+09 0.98005E+08-0.27568E+07 0.13313E+08
408 -0.12058E+09-0.26456E+08 0.21826E+09 0.98017E+08-0.28388E+07 0.13610E+08

```

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*

PowerGraphics Is Currently Enabled

```

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4
TIME= 17500. LOAD CASE= 0
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL 1

```

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SXZ
221	-0.33493E+09	0.68788E+06	0.33616E+07	0.12830	-0.24942E+08	0.64194
222	-0.22947E+09	0.20093E+08	0.12126E+09	0.26171E+08	-0.22422E+08	0.81324E+08
223	-0.23605E+09	0.46300E+08	0.12147E+09	0.34792E+07	-0.32480E+08	0.63440E+08
224	-0.21344E+09	0.31268E+08	0.13859E+09	0.12221E+08	-0.34178E+08	0.79364E+08
225	0.14180E+09	-0.14501E+09	-0.16561E+09	-0.87016E+08	0.56197E+08	0.39024E+08
226	-0.23603E+09	-0.12647E+08	-0.25675E+08	-0.27737E+08	0.25041E+07	0.66201E+08
227	-0.10665E+09	-0.42877E+06	-0.11187E+08	0.57735E+06	0.31197E+07	0.34132E+08
228	-0.59063E+08	0.34459E+07	-0.45766E+07	0.65137E+06	0.55200E+06	0.18296E+08
229	-0.43082E+08	-0.55913E+07	-0.66625E+07	-0.53492E+07	0.11716E+06	0.90635E+07
230	-0.15333E+08	-0.46899E+06	-0.17221E+07	-0.33880E+07	0.43951E+06	0.35502E+07
231	-0.21992E+07	-0.52201E+06	-0.76653E+06	-0.28074E+07	0.28370E+06	0.56873E+06
232	0.57636E+07	-0.26334E+06	-0.25230E+06	-0.26653E+07	0.17881E+06	-0.12022E+07
233	0.11292E+08	-90300.	48966.	-0.23005E+07	0.15566E+06	-0.23029E+07
234	0.14984E+08	-49369.	0.16697E+06	-0.21253E+07	0.10966E+06	-0.29707E+07
235	0.17625E+08	3271.4	0.22108E+06	-0.19574E+07	83081.	-0.33779E+07
236	0.19615E+08	18770.	0.22450E+06	-0.18488E+07	54311.	-0.36068E+07
237	0.21303E+08	27430.	0.19863E+06	-0.17778E+07	27409.	-0.37043E+07
238	0.22997E+08	57824.	0.17433E+06	-0.17432E+07	-11206.	-0.36907E+07
239	0.25049E+08	-43327.	47964.	-0.17810E+07	-30202.	-0.35471E+07
240	0.28097E+08	0.51739E+06	0.34722E+06	-0.17927E+07	-0.22452E+06	-0.32966E+07



241 0.32551E+08-0.19497E+07-0.13740E+07-0.22782E+07 0.31730E+06-0.24131E+07  
 242 0.44575E+08 0.10636E+08 0.74060E+07-0.89871E+06-0.34499E+07-0.24468E+07  
 243 0.26620E+08-0.54425E+08-0.39362E+08-0.11473E+08 0.17931E+08 0.11468E+08  
 244 0.81901E+08-0.13023E+08-0.10581E+09-0.19863E+08-0.33544E+08 0.77128E+07  
 245 0.66558E+06 0.15986E+07-0.10770E+06-0.21358E+07 0.11987E+07 0.21265E+07  
 246 0.15284E+09 0.10328E+09 0.14075E+08-0.50683E+08 0.82097E+08-0.21992E+08  
 247 0.21118E+08 0.16328E+08-0.14921E+08-0.76635E+07 0.24954E+08 0.28995E+06  
 248 0.67617E+07 0.52887E+07-0.87791E+07-0.56282E+07 0.52630E+07 0.69900E+06  
 249 0.14057E+07 0.13052E+07 0.56664E+07-0.34714E+07-0.17798E+07 0.35852E+07  
 250 0.67083E+07-0.39377E+06 0.37954E+07-0.38890E+07-0.17261E+07 0.64103E+07  
 251 0.11464E+08-0.38924E+06 0.28650E+07-0.33528E+07-0.92379E+06 0.75919E+07  
 252 0.12471E+08 -40178. 0.18440E+07-0.23892E+07-0.28562E+06 0.72686E+07  
 253 0.11430E+08 0.34723E+06 0.12574E+07-0.19786E+07-0.19305E+06 0.65836E+07  
 254 0.99957E+07 61593. 0.48811E+06-0.18372E+07 -97569. 0.62337E+07  
 255 0.89803E+07 -62341. 3308.5 -0.17488E+07 -55399. 0.62265E+07

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*  
 PowerGraphics Is Currently Enabled

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4  
 TIME= 17500. LOAD CASE= 0  
 NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL 1

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SNZ
396	-0.47819E+07	-0.43818E+07	-0.41650E+07	0.31403E+07	0.21778E+07	-0.15737E+07
397	-0.12180E+08	0.63595E+08	0.28860E+08	0.53041E+08	0.35568E+07	-0.53248E+08
398	-56426.	0.50767E+08	0.13250E+09	0.53161E+08	0.99368E+07	-0.43269E+07
399	-0.13353E+08	0.46576E+08	0.24008E+09	0.52789E+08	0.11966E+08	0.13850E+08
400	-0.14779E+08	0.48863E+08	0.29766E+09	0.58449E+08	0.11699E+08	0.26888E+08
401	-0.13930E+08	0.48011E+08	0.32694E+09	0.57559E+08	0.98824E+07	0.32360E+08
402	-0.96568E+07	0.47631E+08	0.33989E+09	0.57788E+08	0.87212E+07	0.31724E+08
403	-0.56166E+07	0.46064E+08	0.34321E+09	0.56866E+08	0.79673E+07	0.30954E+08
404	-0.34012E+07	0.44236E+08	0.34470E+09	0.56282E+08	0.71559E+07	0.30552E+08
405	-0.23614E+07	0.42772E+08	0.34544E+09	0.55868E+08	0.67937E+07	0.29983E+08
406	-0.18391E+07	0.41395E+08	0.34569E+09	0.55441E+08	0.64528E+07	0.29691E+08
407	-0.16434E+07	0.40305E+08	0.34574E+09	0.55078E+08	0.62202E+07	0.29530E+08
408	-0.18544E+07	0.39323E+08	0.34547E+09	0.54728E+08	0.60419E+07	0.29488E+08
409	-0.23468E+07	0.38513E+08	0.34505E+09	0.54316E+08	0.59371E+07	0.29591E+08
410	-0.23904E+07	0.37561E+08	0.34465E+09	0.54068E+08	0.58418E+07	0.29905E+08
411	-0.28777E+07	0.36754E+08	0.34403E+09	0.53618E+08	0.57456E+07	0.30503E+08
412	-0.37198E+07	0.36180E+08	0.34316E+09	0.53220E+08	0.57117E+07	0.31272E+08
413	-0.48914E+07	0.36089E+08	0.34206E+09	0.52952E+08	0.57412E+07	0.32385E+08
414	-0.70131E+07	0.36364E+08	0.34005E+09	0.52982E+08	0.56796E+07	0.34226E+08
415	-0.86308E+07	0.36837E+08	0.33759E+09	0.53589E+08	0.61612E+07	0.37349E+08
416	-0.87908E+07	0.39719E+08	0.33194E+09	0.53392E+08	0.65042E+07	0.42856E+08
417	-0.67826E+07	0.45998E+08	0.30614E+09	0.53327E+08	0.56229E+07	0.50034E+08
418	-0.57402E+07	0.57488E+08	0.26274E+09	0.53633E+08	0.58272E+07	0.59582E+08
419	-0.10071E+07	0.51782E+08	0.24991E+09	0.49740E+08	0.81944E+07	0.74767E+08
420	-0.65206E+08	0.23579E+08	0.22847E+09	0.47193E+08	-0.32089E+07	0.11626E+09
421	-0.10765E+09	-0.13836E+08	-0.89920E+08	-0.56407E+08	0.34568E+06	-0.45946E+08
422	-0.96218E+08	-0.30122E+08	-0.50005E+08	-0.54314E+08	-0.31543E+07	-0.16360E+08
423	-0.91156E+08	-0.29746E+08	0.28915E+07	-0.45621E+08	0.44055E+06	-0.29274E+07
424	-0.86507E+08	-0.27796E+08	0.44356E+08	-0.43491E+08	0.68907E+06	-0.45097E+06
425	-0.82911E+08	-0.27032E+08	0.72852E+08	-0.41936E+08	0.11605E+07	0.22751E+07
426	-0.81212E+08	-0.26334E+08	0.91874E+08	-0.40434E+08	0.12200E+07	0.27959E+07

427 -0.79704E+08-0.25114E+08 0.10491E+09-0.39457E+08 0.11363E+07 0.32709E+07  
 428 -0.78763E+08-0.23888E+08 0.11466E+09-0.38516E+08 0.11870E+07 0.37687E+07  
 429 -0.78635E+08-0.22806E+08 0.12159E+09-0.37839E+08 0.12645E+07 0.39178E+07  
 430 -0.78984E+08-0.22346E+08 0.12662E+09-0.37304E+08 0.13149E+07 0.39624E+07

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*  
 PowerGraphics Is Currently Enabled

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4  
 TIME= 17500. LOAD CASE= 0  
 NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL 1

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SNZ
2851	-0.11993E+09	0.73383E+07	-0.27942E+08	0.88209E+07	-0.21939E+07	-0.71737E+08
2852	-0.84082E+08	-0.49851E+07	-0.21270E+08	0.42604E+07	-28170.	-0.44202E+08
2853	-0.45504E+08	-0.29382E+07	-0.11082E+08	0.34062E+07	-65308.	-0.29197E+08
2854	-0.25801E+08	-0.20609E+07	-0.72773E+07	0.29721E+07	38073.	-0.21236E+08
2855	-0.13913E+08	-0.13313E+07	-0.48236E+07	0.26197E+07	72836.	-0.16269E+08
2856	-0.63331E+07	-0.99573E+06	-0.34269E+07	0.23041E+07	63495.	-0.12963E+08
2857	-0.11651E+07	-0.73437E+06	-0.24694E+07	0.20974E+07	50101.	-0.10659E+08
2858	0.23811E+07	-0.54312E+06	-0.17908E+07	0.19433E+07	35138.	-0.90162E+07
2859	0.48607E+07	-0.39190E+06	-0.12657E+07	0.18335E+07	18486.	-0.78378E+07
2860	0.66202E+07	-0.27300E+06	-0.82751E+06	0.17634E+07	-608.62	-0.70134E+07
2861	0.79376E+07	-0.15072E+06	-0.41366E+06	0.17341E+07	-23740.	-0.64835E+07
2862	0.89803E+07	-62341.	3308.5	0.17488E+07	-55399.	-0.62265E+07
2863	0.99957E+07	61593.	0.48811E+06	0.18372E+07	-97569.	-0.62337E+07
2864	0.11430E+08	0.34723E+06	0.12574E+07	0.19786E+07	-0.19305E+06	-0.65836E+07
2865	0.12471E+08	-40178.	0.18440E+07	0.23892E+07	-0.28562E+06	-0.72686E+07
2866	0.11464E+08	-0.38924E+06	0.28650E+07	0.33528E+07	-0.92379E+06	-0.75919E+07
2867	0.67083E+07	-0.39377E+06	0.37954E+07	0.38890E+07	-0.17261E+07	-0.64103E+07
2868	0.14057E+07	-0.13052E+07	0.56664E+07	0.34714E+07	-0.17798E+07	-0.35852E+07
2869	0.14180E+09	-0.14501E+09	-0.16561E+09	0.87016E+08	-0.56197E+08	-0.39024E+08
2870	0.67617E+07	0.52887E+07	-0.87791E+07	0.56282E+07	0.52630E+07	-0.69900E+06
2871	0.21118E+08	0.16328E+08	-0.14921E+08	0.76635E+07	0.24954E+08	-0.28995E+06
2872	0.15284E+09	0.10328E+09	0.14075E+08	0.50683E+08	0.82097E+08	0.21992E+08
2873	0.81901E+08	-0.13023E+08	-0.10581E+09	0.19863E+08	-0.33544E+08	-0.77128E+07
2874	0.26620E+08	-0.54425E+08	-0.39362E+08	0.11473E+08	0.17931E+08	-0.11468E+08
2875	0.44575E+08	0.10636E+08	0.74060E+07	0.89871E+06	-0.34499E+07	0.24468E+07
2876	0.32551E+08	-0.19497E+07	-0.13740E+07	0.22782E+07	0.31730E+06	0.24131E+07
2877	0.28097E+08	0.51739E+06	0.34722E+06	0.17927E+07	-0.22452E+06	0.32966E+07
2878	0.25049E+08	-43327.	47964.	0.17810E+07	-30202.	0.35471E+07
2879	0.22997E+08	57824.	0.17433E+06	0.17432E+07	-11206.	0.36907E+07
2880	0.21303E+08	27430.	0.19863E+06	0.17778E+07	27409.	0.37043E+07
2881	0.19615E+08	18770.	0.22450E+06	0.18488E+07	54311.	0.36068E+07
2882	0.17625E+08	3271.4	0.22108E+06	0.19574E+07	83081.	0.33779E+07
2883	0.14984E+08	-49369.	0.16697E+06	0.21253E+07	0.10966E+06	0.29707E+07
2884	0.11292E+08	-90300.	48966.	0.23005E+07	0.15566E+06	0.23029E+07
2885	0.57636E+07	-0.26334E+06	-0.25230E+06	0.26653E+07	0.17881E+06	0.12022E+07

MINIMUM VALUES

NODE	211	225	225	2951	27	2972
VALUE	-0.34371E+09	-0.14501E+09	-0.16561E+09	-0.13693E+09	-0.83311E+08	-0.11626E+09

MAXIMUM VALUES

NODE	2872	214	407	399	246	420
VALUE	0.15284E+09	0.14761E+09	0.34574E+09	0.13693E+09	0.82097E+08	0.11626E+09



## Pengelasan variasi III

### Distorsi

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4  
TIME= 17500. LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
186	-0.38058E-04	0.42583E-04	0.31751E-04	0.65344E-04
187	-0.40895E-04	0.38372E-04	0.32121E-04	0.64626E-04
188	-0.43918E-04	0.34685E-04	0.32247E-04	0.64589E-04
189	-0.47335E-04	0.31421E-04	0.31750E-04	0.65084E-04
190	-0.50239E-04	0.29117E-04	0.30436E-04	0.65560E-04
191	-0.24892E-04	0.16874E-03	0.19888E-04	0.17172E-03
192	-0.18456E-04	0.15292E-03	0.10007E-04	0.15435E-03
193	-0.16454E-04	0.13773E-03	0.26135E-05	0.13874E-03
194	-0.16342E-04	0.12517E-03	0.36736E-05	0.12628E-03
195	-0.17317E-04	0.11399E-03	0.87590E-05	0.11563E-03
196	-0.18905E-04	0.10387E-03	0.12996E-04	0.10638E-03
197	-0.20867E-04	0.94652E-04	0.16543E-04	0.98326E-04
198	-0.23057E-04	0.86203E-04	0.19528E-04	0.91345E-04
199	-0.25386E-04	0.78433E-04	0.22046E-04	0.85336E-04
200	-0.27795E-04	0.71271E-04	0.24172E-04	0.80227E-04
201	-0.30247E-04	0.64666E-04	0.25965E-04	0.75965E-04
202	-0.32718E-04	0.58578E-04	0.27472E-04	0.72503E-04
203	-0.35196E-04	0.52980E-04	0.28732E-04	0.69794E-04
204	-0.37685E-04	0.47852E-04	0.29767E-04	0.67794E-04
205	-0.40187E-04	0.43193E-04	0.30595E-04	0.66458E-04
206	-0.42733E-04	0.39003E-04	0.31194E-04	0.65729E-04
207	-0.45382E-04	0.35272E-04	0.31528E-04	0.65556E-04
208	-0.47985E-04	0.32160E-04	0.31311E-04	0.65706E-04
209	-0.50367E-04	0.30107E-04	0.30307E-04	0.66044E-04
210	-0.11731E-04	0.15447E-03	0.32943E-04	0.15838E-03
211	0.52284E-16	0.15269E-03	0.35142E-04	0.15669E-03
212	0.11731E-04	0.15447E-03	0.32943E-04	0.15838E-03
213	0.28904E-16	0.18294E-03	0.21795E-04	0.18424E-03
214	-0.32873E-06	0.17766E-03	0.16762E-04	0.17845E-03
215	0.18301E-15	0.17404E-03	0.27927E-04	0.17627E-03
216	0.32873E-06	0.17766E-03	0.16762E-04	0.17845E-03
217	-0.28400E-17	0.17527E-03	0.86522E-05	0.17548E-03
218	-0.12040E-04	0.16841E-03	0.26769E-04	0.17095E-03
219	0.12040E-04	0.16841E-03	0.26769E-04	0.17095E-03
220	0.20072E-05	0.29095E-04	0.22144E-05	0.29248E-04
221	0.10923E-14	0.18053E-04	0.13101E-04	0.22306E-04
222	0.75391E-05	0.32520E-04	0.25738E-05	0.33481E-04

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4  
TIME= 17500. LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
334	0.44468E-15	0.31254E-04	0.21458E-05	0.31328E-04
335	0.50930E-15	0.39559E-04	0.30353E-05	0.39675E-04
336	0.54250E-15	0.46776E-04	0.39350E-05	0.46941E-04
337	0.58687E-15	0.53019E-04	0.47820E-05	0.53235E-04
338	0.64219E-15	0.58322E-04	0.55645E-05	0.58587E-04
339	0.68514E-15	0.62658E-04	0.62200E-05	0.62966E-04
340	0.73195E-15	0.66025E-04	0.67834E-05	0.66372E-04
341	0.77578E-15	0.68518E-04	0.71359E-05	0.68889E-04
342	0.82092E-15	0.69980E-04	0.72809E-05	0.70357E-04
343	0.86141E-15	0.70185E-04	0.70400E-05	0.70537E-04
344	0.89684E-15	0.68934E-04	0.66602E-05	0.69255E-04
345	0.94250E-15	0.66041E-04	0.61983E-05	0.66331E-04
346	0.98796E-15	0.62662E-04	0.24935E-05	0.62712E-04
347	0.10205E-14	0.54401E-04	0.45417E-05	0.54590E-04
348	0.10628E-14	0.34026E-04	0.48392E-05	0.34368E-04
349	0.50638E-04	0.26013E-04	0.30014E-04	0.64356E-04
350	0.46957E-04	0.20061E-04	0.27207E-04	0.57859E-04
351	0.48597E-04	0.14102E-04	0.26523E-04	0.57132E-04
352	0.49696E-04	0.72646E-05	0.23230E-04	0.55336E-04
353	0.51042E-04	0.98080E-06	0.20073E-04	0.54856E-04
354	0.52203E-04	0.48296E-05	0.16455E-04	0.54947E-04
355	0.53216E-04	0.98178E-05	0.12893E-04	0.55629E-04
356	0.54064E-04	0.13933E-04	0.93073E-05	0.56601E-04
357	0.54781E-04	0.17074E-04	0.58208E-05	0.57674E-04
358	0.55390E-04	0.19218E-04	0.23964E-05	0.58678E-04
359	0.55917E-04	0.20342E-04	0.95530E-06	0.59510E-04
360	0.56372E-04	0.20451E-04	0.42734E-05	0.60119E-04
361	0.56757E-04	0.19555E-04	0.75794E-05	0.60508E-04
362	0.57062E-04	0.17676E-04	0.10912E-04	0.60726E-04
363	0.57265E-04	0.14850E-04	0.14289E-04	0.60860E-04
364	0.57335E-04	0.11125E-04	0.17743E-04	0.61040E-04
365	0.57230E-04	0.65805E-05	0.21250E-04	0.61402E-04
366	0.56912E-04	0.13053E-05	0.24839E-04	0.62110E-04
367	0.56333E-04	0.45223E-05	0.28364E-04	0.63233E-04
368	0.55510E-04	0.10785E-04	0.31913E-04	0.64932E-04
369	0.54399E-04	0.17051E-04	0.34929E-04	0.66859E-04
370	0.53466E-04	0.23403E-04	0.38101E-04	0.69699E-04

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4  
TIME= 17500. LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
2850	-0.45194E-05	0.11736E-04	0.73374E-05	0.14560E-04
2851	-0.37877E-05	0.83256E-05	0.29868E-05	0.96220E-05
2852	-0.38114E-05	0.56271E-05	0.97555E-05	0.11890E-04
2853	-0.52973E-05	0.28712E-05	0.15539E-04	0.16667E-04
2854	-0.74983E-05	0.46618E-06	0.20288E-04	0.21634E-04
2855	-0.10048E-04	0.16212E-05	0.24333E-04	0.26376E-04
2856	-0.12752E-04	0.34898E-05	0.27776E-04	0.30762E-04
2857	-0.15526E-04	0.52101E-05	0.30720E-04	0.34813E-04
2858	-0.18312E-04	0.68414E-05	0.33242E-04	0.38564E-04



```

2859 -0.21074E-04 0.84371E-05 0.35407E-04 0.42059E-04
2860 -0.23792E-04 0.10045E-04 0.37266E-04 0.45340E-04
2861 -0.26452E-04 0.11708E-04 0.38865E-04 0.48449E-04
2862 -0.29052E-04 0.13471E-04 0.40241E-04 0.51427E-04
2863 -0.31591E-04 0.15377E-04 0.41419E-04 0.54314E-04
2864 -0.34084E-04 0.17480E-04 0.42419E-04 0.57155E-04
2865 -0.36569E-04 0.19815E-04 0.43241E-04 0.59998E-04
2866 -0.38993E-04 0.22451E-04 0.43852E-04 0.62829E-04
2867 -0.41221E-04 0.25603E-04 0.44004E-04 0.65506E-04
2868 -0.43017E-04 0.29708E-04 0.43430E-04 0.67964E-04
2869 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
2870 -0.47707E-04 0.34196E-04 0.40953E-04 0.71571E-04
2871 -0.51248E-04 0.33136E-04 0.39352E-04 0.72615E-04
2872 -0.54223E-04 0.31830E-04 0.36067E-04 0.72485E-04
2873 -0.53566E-04 0.23274E-04 0.47182E-04 0.75081E-04
2874 -0.49985E-04 0.23531E-04 0.43295E-04 0.70190E-04
2875 -0.45735E-04 0.19220E-04 0.44704E-04 0.66780E-04
2876 -0.42163E-04 0.16415E-04 0.44693E-04 0.63597E-04
2877 -0.38876E-04 0.13854E-04 0.44589E-04 0.60757E-04
2878 -0.35755E-04 0.11602E-04 0.44187E-04 0.58013E-04
2879 -0.32728E-04 0.95499E-05 0.43558E-04 0.55313E-04
2880 -0.29761E-04 0.76435E-05 0.42684E-04 0.52593E-04
2881 -0.26842E-04 0.58257E-05 0.41548E-04 0.49806E-04
2882 -0.23979E-04 0.40410E-05 0.40111E-04 0.46907E-04
2883 -0.21196E-04 0.22336E-05 0.38329E-04 0.43856E-04
2884 -0.18542E-04 0.33084E-06 0.36138E-04 0.40618E-04
2885 -0.16079E-04 0.17308E-05 0.33462E-04 0.37165E-04
2886 -0.13968E-04 0.41009E-05 0.30190E-04 0.33516E-04

```

#### MAXIMUM ABSOLUTE VALUES

```

NODE      364      213      2873      213
VALUE 0.57335E-04 0.18294E-03 0.47182E-04 0.18424E-03

```

## Tegangan Sisa

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*

```

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4
TIME= 17500. LOAD CASE= 0
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL 2

```

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SNZ
1	-0.35084E+09	-0.78907E+08	0.43113E+07	0.51107E+08	0.41762E+07	-0.61144E+08
2	-0.16040E+09	0.10626E+09	0.15339E+09	0.12166E-03	0.45963E+06	-0.44199E-04
3	-0.25156E+09	-0.33115E+07	0.12465E+09	0.24743E+08	-0.10927E+08	-0.36222E+08
4	-0.20200E+09	0.79920E+08	0.18321E+09	-0.51993E+07	-0.38899E+07	-0.87969E+07
5	-0.23820E+09	0.48580E+08	0.11645E+09	0.96003E+07	0.16485E+08	-0.76462E+07
106	-0.35084E+09	-0.78907E+08	0.43113E+07	0.51107E+08	0.41762E+07	-0.61144E+08
107	-0.23820E+09	0.48580E+08	0.11645E+09	0.96003E+07	0.16485E+08	-0.76462E+07
108	-0.20200E+09	0.79920E+08	0.18321E+09	0.51993E+07	-0.38899E+07	-0.87969E+07
109	-0.25156E+09	-0.33115E+07	0.12465E+09	0.24743E+08	-0.10927E+08	-0.36222E+08
210	-0.32823E+09	0.32636E+07	-0.27124E+08	-0.57691E+08	-0.20897E+08	0.41158E+08
211	-0.34135E+09	0.25587E+08	-0.60841E+08	-0.58029	-0.42957E+08	0.33080

```

212 -0.32823E+09 0.32636E+07-0.27124E+08 0.57691E+08-0.20897E+08-0.41158E+08
213 -0.15188E+09 0.11778E+09 0.20132E+09 0.59773E+01-0.48560E+08 0.94317E+01
214 -0.17144E+09 0.45272E+08 0.19575E+09 0.18612E+08-0.39871E+08 0.16943E+08
215 -0.29123E+09 0.41950E+08 0.56458E+08-0.82484E+01-0.38879E+08-0.38483E+01
216 -0.17144E+09 0.45272E+08 0.19575E+09-0.18612E+08-0.39871E+08-0.16943E+08
217 -0.25026E+09 0.30478E+08 0.10425E+09-0.30584E+01 0.95532E+07 0.92883E+02
218 -0.25836E+09 0.35604E+08 0.79771E+08-0.32353E+08-0.25179E+08 0.23044E+08
219 -0.25836E+09 0.35604E+08 0.79771E+08 0.32353E+08-0.25179E+08-0.23044E+08
220 -0.26504E+09-0.22254E+08 0.37992E+07 0.63993E+08 0.10819E+08 0.50722E+08
221 -0.28853E+09 0.31987E+07 0.10375E+09 0.18895E+03-0.20989E+07 0.10521E+04
222 -0.19726E+09-0.74691E+07 0.37456E+08 0.39567E+08 0.23374E+08 0.46319E+08
223 -0.18565E+09 0.60582E+08 0.16955E+09-0.28242E+08 0.99260E+07 0.37978E+08
224 -0.26871E+09 0.31501E+08 0.11585E+09-0.50023E+07-0.72630E+07 0.51727E+07
397 -0.19184E+09-0.57803E+08 0.13049E+09 0.65582E+08 0.15093E+08-0.72441E+08
398 -0.13138E+09-0.55158E+08 0.16362E+09 0.92316E+08 0.20400E+07-0.49314E+08
399 -0.12717E+09-0.44386E+08 0.17584E+09 0.10085E+09-0.54345E+07-0.32794E+08
400 -0.14024E+09-0.29867E+08 0.18559E+09 0.10834E+09-0.11700E+07-0.30465E+08
401 -0.12800E+09-0.18630E+08 0.19744E+09 0.10947E+09-0.17217E+07-0.26436E+08
402 -0.12435E+09-0.17697E+08 0.20555E+09 0.10609E+09-0.14281E+07-0.24821E+08
403 -0.12176E+09-0.18688E+08 0.20970E+09 0.10461E+09-0.92566E+06-0.23229E+08
404 -0.12013E+09-0.19561E+08 0.21276E+09 0.10325E+09-0.11464E+07-0.21899E+08
405 -0.11968E+09-0.21289E+08 0.21459E+09 0.10186E+09-0.10486E+07-0.20973E+08
406 -0.11918E+09-0.23170E+08 0.21611E+09 0.10065E+09-0.10730E+07-0.20139E+08
407 -0.11931E+09-0.24769E+08 0.21684E+09 0.99716E+08-0.10920E+07-0.19490E+08
408 -0.11946E+09-0.25780E+08 0.21717E+09 0.99209E+08-0.11129E+07-0.18950E+08

```

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*

PowerGraphics Is Currently Enabled

```

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4
TIME= 17500. LOAD CASE= 0
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL 1

```

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SNZ
221	-0.33562E+09	-0.21375E+07	0.35268E+07	-0.21333	-0.24415E+08	0.50929
222	-0.16698E+09	-0.34535E+08	0.52305E+08	0.36899E+08	0.43009E+06	0.50608E+08
223	-0.21451E+09	-0.38139E+07	0.12805E+09	0.63280E+07	-0.54434E+08	0.81940E+08
224	-0.24179E+09	-0.21285E+08	0.11476E+09	-0.24576E+08	-0.33437E+08	0.67808E+08
225	0.14534E+09	-0.14129E+09	-0.16057E+09	0.87967E+08	0.56095E+08	0.38565E+08
226	-0.22734E+09	-0.16455E+08	-0.19008E+08	0.26861E+08	0.11358E+07	0.67762E+08
227	-0.10662E+09	0.22218E+07	-0.16046E+08	0.11521E+08	0.15031E+07	0.47286E+08
228	-0.74866E+08	0.22404E+07	-0.11504E+08	0.33300E+07	-0.59367E+06	0.30422E+08
229	-0.57154E+08	-0.60275E+07	-0.11968E+08	0.21009E+07	-0.18738E+06	0.17784E+08
230	-0.25830E+08	-0.20151E+07	-0.54714E+07	-0.19257E+07	0.16839E+06	0.95773E+07
231	-0.90993E+07	-0.90895E+06	-0.28893E+07	-0.13620E+07	0.17133E+06	0.47892E+07
232	0.42997E+06	-0.75875E+06	-0.17636E+07	-0.17226E+07	79435.	0.19178E+07
233	0.70994E+07	-0.31466E+06	-0.96491E+06	-0.15104E+07	95787.	91359.
234	0.11461E+08	-0.24984E+06	-0.58706E+06	-0.15062E+07	61024.	-0.10687E+07
235	0.14593E+08	-0.12589E+06	-0.33980E+06	-0.14440E+07	45515.	-0.18252E+07
236	0.16945E+08	-83381.	-0.21263E+06	-0.14239E+07	22599.	-0.23080E+07
237	0.18944E+08	-48646.	-0.14902E+06	-0.14223E+07	-407.61	-0.25936E+07
238	0.20934E+08	-3053.3	-0.11083E+06	-0.14468E+07	-36913.	-0.27197E+07
239	0.23307E+08	-85218.	-0.18767E+06	-0.15356E+07	-57110.	-0.26778E+07
240	0.26752E+08	0.46312E+06	0.13175E+06	-0.16019E+07	-0.24996E+06	-0.24929E+07
241	0.31765E+08	-0.18680E+07	-0.14961E+07	-0.21205E+07	0.25708E+06	-0.16459E+07



```

242 0.44374E+08 0.10098E+08 0.68792E+07-0.89243E+06-0.34306E+07-0.16402E+07
243 0.29365E+08-0.51787E+08-0.38117E+08-0.11142E+08 0.17227E+08 0.12010E+08
244 0.89424E+08-0.10871E+08-0.10143E+09-0.21003E+08-0.32667E+08 0.78678E+07
245 -57952. 0.79706E+06-0.21784E+06-0.18410E+07 0.16246E+07 0.13322E+07
246 0.14947E+09 0.95694E+08 0.81368E+07-0.51870E+08 0.82523E+08-0.20802E+08
247 0.20368E+08 0.12179E+08-0.17048E+08-0.81112E+07 0.25987E+08 0.34493E+06
248 0.62045E+07 0.35059E+07-0.95496E+07-0.52161E+07 0.59790E+07 0.47327E+06
249 0.10953E+07 0.17892E+07 0.63194E+07-0.32946E+07-0.18901E+07 0.27442E+07
250 0.69717E+07-0.32273E+06 0.43153E+07-0.39209E+07-0.18462E+07 0.55709E+07
251 0.12992E+08-0.41447E+06 0.33164E+07-0.33317E+07-0.10017E+07 0.67312E+07
252 0.15074E+08 45715. 0.23002E+07-0.22649E+07-0.33288E+06 0.61958E+07
253 0.14928E+08 0.45589E+06 0.16857E+07-0.17967E+07-0.22324E+06 0.52525E+07
254 0.14496E+08 0.15956E+06 0.91200E+06-0.16052E+07-0.12375E+06 0.46431E+07
255 0.14665E+08 49517. 0.46050E+06-0.14668E+07 -80701. 0.43599E+07

```

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*  
PowerGraphics Is Currently Enabled

```

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4
TIME= 17500. LOAD CASE= 0
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL 1

```

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SEXZ
396	-0.45149E+07	-0.41544E+07	-0.36886E+07	0.31428E+07	0.26901E+07	-0.24549E+07
397	-0.82623E+08	0.14741E+08	0.21070E+09	0.62542E+08	0.67248E+07	-0.11614E+09
398	-0.20572E+08	0.42712E+08	0.22327E+09	0.56062E+08	0.75007E+07	-0.87557E+08
399	0.88971E+06	0.56311E+08	0.25433E+09	0.53141E+08	-0.75618E+07	-0.71933E+08
400	-0.94210E+07	0.46699E+08	0.30109E+09	0.53322E+08	-0.55063E+07	-0.61985E+08
401	-0.99887E+07	0.37824E+08	0.32783E+09	0.51992E+08	-0.70674E+07	-0.52843E+08
402	-0.83260E+07	0.36311E+08	0.33539E+09	0.52003E+08	-0.60386E+07	-0.45943E+08
403	-0.55832E+07	0.35712E+08	0.33831E+09	0.52435E+08	-0.57621E+07	-0.42794E+08
404	-0.35810E+07	0.35534E+08	0.34049E+09	0.52556E+08	-0.58405E+07	-0.40383E+08
405	-0.25663E+07	0.35820E+08	0.34169E+09	0.52964E+08	-0.57476E+07	-0.38971E+08
406	-0.19582E+07	0.36127E+08	0.34244E+09	0.53331E+08	-0.58208E+07	-0.37955E+08
407	-0.18041E+07	0.36817E+08	0.34301E+09	0.53548E+08	-0.59292E+07	-0.37226E+08
408	-0.15747E+07	0.37353E+08	0.34336E+09	0.53872E+08	-0.60165E+07	-0.36835E+08
409	-0.12462E+07	0.37983E+08	0.34369E+09	0.54244E+08	-0.61829E+07	-0.36632E+08
410	-0.12033E+07	0.38696E+08	0.34378E+09	0.54555E+08	-0.63810E+07	-0.36609E+08
411	-0.15319E+07	0.39584E+08	0.34364E+09	0.54822E+08	-0.66722E+07	-0.36749E+08
412	-0.22053E+07	0.40808E+08	0.34327E+09	0.55170E+08	-0.70250E+07	-0.37065E+08
413	-0.33539E+07	0.42274E+08	0.34245E+09	0.55665E+08	-0.75041E+07	-0.37608E+08
414	-0.54485E+07	0.44126E+08	0.34094E+09	0.56372E+08	-0.82260E+07	-0.38265E+08
415	-0.94145E+07	0.45654E+08	0.33751E+09	0.57507E+08	-0.90066E+07	-0.39326E+08
416	-0.15563E+08	0.46622E+08	0.32724E+09	0.58112E+08	-0.10836E+08	-0.40504E+08
417	-0.14962E+08	0.46579E+08	0.29204E+09	0.58922E+08	-0.12310E+08	-0.37092E+08
418	-0.96726E+07	0.46395E+08	0.23296E+09	0.54687E+08	-0.13959E+08	-0.23902E+08
419	-0.11109E+08	0.56512E+08	0.14069E+09	0.47203E+08	-0.12771E+08	-0.51486E+07
420	0.31335E+08	0.71216E+08	0.50372E+08	0.31101E+08	-0.62176E+06	0.32351E+08
421	-0.63903E+08	-0.12709E+08	-0.84023E+08	-0.41487E+08	-0.27796E+07	-0.38816E+08
422	-0.58014E+08	-0.30061E+08	-0.51477E+08	-0.44578E+08	-0.27184E+07	-0.45238E+07
423	-0.76025E+08	-0.29900E+08	29501.	-0.41143E+08	-0.93039E+06	0.13837E+08
424	-0.79633E+08	-0.27298E+08	0.43727E+08	-0.40175E+08	-0.48232E+06	0.16801E+08
425	-0.83249E+08	-0.26101E+08	0.73210E+08	-0.39984E+08	-40614.	0.18420E+08
426	-0.84352E+08	-0.25439E+08	0.91862E+08	-0.39144E+08	-0.18963E+06	0.17816E+08
427	-0.83856E+08	-0.24776E+08	0.10529E+09	-0.38486E+08	-0.24359E+06	0.17616E+08

```

428 -0.82549E+08-0.23958E+08 0.11530E+09-0.37560E+08 0.44787E+06 0.17438E+08
429 -0.81588E+08-0.23146E+08 0.12253E+09-0.37050E+08 0.63536E+06 0.17185E+08
430 -0.80995E+08-0.22681E+08 0.12734E+09-0.36774E+08 0.74306E+06 0.17055E+08

```

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*  
PowerGraphics Is Currently Enabled

```

LOAD STEP= 70 SUBSTEP= 4
TIME= 17500. LOAD CASE= 0
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL 1

```

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SEXZ
2921	0.16146E+08-0.10276E+06-0.42658E+06	0.29629E+07	1011.1	-0.11478E+07		
2922	0.16967E+08 -43968.	-0.22035E+06	0.29948E+07	-47797.	-0.89146E+06	
2923	0.17756E+08 1498.8	-24642.	0.30994E+07-0.11635E+06	-0.81554E+06		
2924	0.18884E+08 75530.	0.19272E+06	0.33112E+07-0.20278E+06	-0.92057E+06		
2925	0.20303E+08 38310.	0.38261E+06	0.36961E+07-0.40449E+06	-0.12366E+07		
2926	0.23663E+08 0.75046E+06	0.96608E+06	0.43484E+07-0.56799E+06	-0.16936E+07		
2927	0.29773E+08-0.14029E+07	0.15351E+07	0.59151E+07-0.17719E+07	-0.28811E+07		
2928	0.29234E+08-0.18115E+07-0.41683E+07	0.11980E+08	-0.17603E+07	-0.16993E+07		
2929	0.17610E+08 0.98127E+07-0.35288E+07	0.18932E+08	-0.12622E+08	0.19668E+07		
2930	-0.16425E+09-0.35118E+08-0.36823E+08	0.39458E+07	85742.	-0.53422E+08		
2931	-0.10780E+09 0.90046E+07-0.20896E+08	0.55975E+07	-0.15489E+06	-0.42375E+08		
2932	-0.44841E+08-0.24578E+07-0.14175E+08	0.44288E+07	0.13837E+06	-0.27570E+08		
2933	-0.18559E+08-0.21744E+07-0.77911E+07	0.21443E+07	-23316.	-0.17411E+08		
2934	-0.31458E+07-0.15808E+07-0.48425E+07	0.27653E+07	42436.	-0.11738E+08		
2935	0.49405E+07-0.72350E+06-0.30674E+07	0.25406E+07	83717.	-0.83600E+07		
2936	0.98375E+07-0.59395E+06-0.20853E+07	0.24247E+07	63762.	-0.61785E+07		
2937	0.12676E+08-0.39025E+06-0.14365E+07	0.23050E+07	49471.	-0.47213E+07		
2938	0.14343E+08-0.27363E+06-0.99033E+06	0.22317E+07	29430.	-0.37246E+07		
2939	0.15248E+08-0.17952E+06-0.65597E+06	0.21827E+07	8220.1	-0.30506E+07		
2940	0.15711E+08-0.10751E+06-0.37637E+06	0.21697E+07	-18272.	-0.26194E+07		
2941	0.15938E+08 -42839.	-0.11964E+06	0.21992E+07	-52279.	-0.23921E+07	
2942	0.16163E+08 26671.	0.16700E+06	0.22844E+07	-99799.	-0.23527E+07	
2943	0.16524E+08 38546.	0.44761E+06	0.24526E+07	-0.16693E+06	-0.25150E+07	
2944	0.17335E+08 0.29181E+06	0.95464E+06	0.27315E+07	-0.31809E+06	-0.28736E+07	
2945	0.19170E+08 0.13640E+06	0.14702E+07	0.32700E+07	-0.41412E+06	-0.34216E+07	
2946	0.19583E+08-0.14269E+07	0.15141E+07	0.49368E+07	-0.14786E+07	-0.38418E+07	
2947	0.17583E+08 0.73352E+06	0.14024E+07	0.75552E+07	-0.27387E+07	-0.24655E+07	
2948	0.97707E+07 0.45808E+07	0.55181E+06	0.68834E+07	-0.35422E+07	-0.89389E+06	
2949	-0.82623E+08 0.14741E+08	0.21070E+09	-0.62542E+08	0.67248E+07	0.11614E+09	
2950	-0.20572E+08 0.42712E+08	0.22327E+09	-0.56062E+08	-0.75007E+07	0.87557E+08	
2951	0.88971E+06 0.56311E+08	0.25433E+09	-0.53141E+08	-0.75618E+07	0.71933E+08	
2952	-0.94210E+07 0.46699E+08	0.30109E+09	-0.53322E+08	-0.55063E+07	0.61985E+08	
2953	-0.99887E+07 0.37824E+08	0.32783E+09	-0.51992E+08	-0.70674E+07	0.52843E+08	
2954	-0.83260E+07 0.36311E+08	0.33539E+09	-0.52003E+08	-0.60386E+07	0.45943E+08	
2955	-0.55832E+07 0.35712E+08	0.33831E+09	-0.52435E+08	-0.57621E+07	0.42794E+08	

MINIMUM VALUES

NODE	1	225	225	2970	133	397
VALUE	-0.35084E+09	-0.14129E+09	-0.16057E+09	-0.12681E+09	-0.82623E+08	-0.11614E+09

MAXIMUM VALUES

NODE	246	213	410	418	246	2949
VALUE	0.14947E+09	0.11778E+09	0.34378E+09	0.12681E+09	0.82523E+08	0.11614E+09



## Pengelasan variasi IV

### Distorsi

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 45 SUBSTEP= 4  
TIME= 15000. LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
223	0.15124E-04	0.97709E-04	0.81585E-05	0.99209E-04
224	0.46790E-05	0.10543E-03	0.22500E-04	0.10791E-03
225	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
226	0.51359E-05	0.92663E-04	0.47236E-04	0.10413E-03
227	0.70376E-05	0.78617E-04	0.47997E-04	0.92379E-04
228	0.73161E-05	0.71664E-04	0.48935E-04	0.87085E-04
229	0.84806E-05	0.64518E-04	0.49678E-04	0.81868E-04
230	0.10667E-04	0.58385E-04	0.50135E-04	0.77692E-04
231	0.13213E-04	0.53327E-04	0.50370E-04	0.74535E-04
232	0.15790E-04	0.49132E-04	0.50373E-04	0.72116E-04
233	0.18408E-04	0.45594E-04	0.50153E-04	0.70235E-04
234	0.20968E-04	0.42642E-04	0.49741E-04	0.68792E-04
235	0.23450E-04	0.40165E-04	0.49161E-04	0.67675E-04
236	0.25827E-04	0.38084E-04	0.48432E-04	0.66806E-04
237	0.28091E-04	0.36323E-04	0.47572E-04	0.66118E-04
238	0.30238E-04	0.34813E-04	0.46591E-04	0.65552E-04
239	0.32271E-04	0.33487E-04	0.45487E-04	0.65053E-04
240	0.34196E-04	0.32274E-04	0.44253E-04	0.64570E-04
241	0.36029E-04	0.31101E-04	0.42810E-04	0.64016E-04
242	0.37781E-04	0.29800E-04	0.41230E-04	0.63367E-04
243	0.39581E-04	0.28629E-04	0.38488E-04	0.62190E-04
244	0.40854E-04	0.25528E-04	0.39245E-04	0.62136E-04
245	0.44454E-04	0.26629E-04	0.23543E-04	0.56917E-04
246	0.42843E-04	0.21509E-04	0.27595E-04	0.55314E-04
247	0.43675E-04	0.24142E-04	0.27148E-04	0.56810E-04
248	0.43957E-04	0.25781E-04	0.25436E-04	0.56955E-04
249	0.43099E-04	0.28416E-04	0.24649E-04	0.57206E-04
250	0.41265E-04	0.30486E-04	0.24611E-04	0.56903E-04
251	0.39304E-04	0.32074E-04	0.24515E-04	0.56343E-04
252	0.37479E-04	0.33382E-04	0.24314E-04	0.55769E-04
253	0.35751E-04	0.34611E-04	0.24032E-04	0.55259E-04
254	0.34044E-04	0.35863E-04	0.23645E-04	0.54811E-04
255	0.32351E-04	0.37201E-04	0.23136E-04	0.54459E-04
256	0.30652E-04	0.38699E-04	0.22472E-04	0.54242E-04
257	0.28945E-04	0.40418E-04	0.21616E-04	0.54209E-04
258	0.27235E-04	0.42420E-04	0.20522E-04	0.54428E-04
259	0.25538E-04	0.44774E-04	0.19138E-04	0.54983E-04

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 45 SUBSTEP= 4  
TIME= 15000. LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
334	0.32224E-08	0.28126E-03	0.80637E-05	0.28137E-03
335	0.34440E-08	0.28434E-03	0.11477E-06	0.28434E-03
336	0.28593E-08	0.27943E-03	0.80458E-05	0.27954E-03
337	0.27288E-08	0.27648E-03	0.16624E-04	0.27698E-03
338	0.23849E-08	0.27162E-03	0.21292E-04	0.27245E-03
339	0.22230E-08	0.25752E-03	0.21852E-04	0.25845E-03
340	0.19176E-08	0.24109E-03	0.23491E-04	0.24224E-03
341	0.17119E-08	0.22227E-03	0.25289E-04	0.22370E-03
342	0.14446E-08	0.20031E-03	0.27287E-04	0.20216E-03
343	0.12108E-08	0.17522E-03	0.29571E-04	0.17770E-03
344	0.95514E-09	0.14583E-03	0.31866E-04	0.14927E-03
345	0.70896E-09	0.11169E-03	0.34656E-04	0.11694E-03
346	0.45524E-09	0.70837E-04	0.36973E-04	0.79905E-04
347	0.19944E-09	0.22119E-04	0.41216E-04	0.46776E-04
348	-0.68289E-10	0.35118E-04	0.45711E-04	0.57644E-04
349	0.42620E-04	0.12022E-04	0.23833E-04	0.50290E-04
350	0.39173E-04	0.31887E-05	0.21072E-04	0.44595E-04
351	0.40669E-04	0.18197E-04	0.21273E-04	0.49373E-04
352	0.41195E-04	0.34177E-04	0.18793E-04	0.56730E-04
353	0.41754E-04	0.49263E-04	0.16386E-04	0.66624E-04
354	0.42083E-04	0.63208E-04	0.13465E-04	0.77120E-04
355	0.42266E-04	0.75490E-04	0.10562E-04	0.87159E-04
356	0.42334E-04	0.85922E-04	0.76089E-05	0.96087E-04
357	0.42364E-04	0.94314E-04	0.47480E-05	0.10350E-03
358	0.42414E-04	0.10059E-03	0.19445E-05	0.10918E-03
359	0.42538E-04	0.10469E-03	0.79581E-06	0.11300E-03
360	0.42762E-04	0.10659E-03	0.35287E-05	0.11490E-03
361	0.43087E-04	0.10629E-03	0.62935E-05	0.11487E-03
362	0.43486E-04	0.10381E-03	0.91448E-05	0.11292E-03
363	0.43909E-04	0.99164E-04	0.12104E-04	0.10912E-03
364	0.44297E-04	0.92387E-04	0.15196E-04	0.10358E-03
365	0.44585E-04	0.83544E-04	0.18377E-04	0.96463E-04
366	0.44722E-04	0.72710E-04	0.21654E-04	0.88066E-04
367	0.44655E-04	0.60067E-04	0.24847E-04	0.78864E-04
368	0.44387E-04	0.45777E-04	0.28033E-04	0.69654E-04
369	0.43857E-04	0.30383E-04	0.30613E-04	0.61512E-04
370	0.43382E-04	0.14018E-04	0.33350E-04	0.56487E-04

\*\*\*\*\* POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 45 SUBSTEP= 4  
TIME= 15000. LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	UX	UY	UZ	USUM
2998	-0.39170E-04	0.31994E-05	0.21073E-04	0.44594E-04
2999	-0.40666E-04	0.18213E-04	0.21274E-04	0.49376E-04
3000	-0.41191E-04	0.34198E-04	0.18794E-04	0.56740E-04
3001	-0.41749E-04	0.49288E-04	0.16388E-04	0.66640E-04
3002	-0.42077E-04	0.63237E-04	0.13468E-04	0.77141E-04
3003	-0.42260E-04	0.75522E-04	0.10565E-04	0.87184E-04
3004	-0.42328E-04	0.85955E-04	0.76114E-05	0.96114E-04
3005	-0.42358E-04	0.94349E-04	0.47506E-05	0.10353E-03
3006	-0.42408E-04	0.10062E-03	0.19470E-05	0.10921E-03



```

3007 -0.42532E-04-0.10472E-03 0.79324E-06 0.11303E-03
3008 -0.42757E-04-0.10662E-03 0.35261E-05 0.11493E-03
3009 -0.43082E-04-0.10633E-03 0.62910E-05 0.11490E-03
3010 -0.43481E-04-0.10384E-03 0.91423E-05 0.11295E-03
3011 -0.43904E-04-0.99194E-04 0.12101E-04 0.10915E-03
3012 -0.44293E-04-0.92414E-04 0.15194E-04 0.10360E-03
3013 -0.44581E-04-0.83569E-04 0.18375E-04 0.96483E-04
3014 -0.44719E-04-0.72732E-04 0.21652E-04 0.88083E-04
3015 -0.44653E-04-0.60087E-04 0.24845E-04 0.78878E-04
3016 -0.44386E-04-0.45795E-04 0.28030E-04 0.69663E-04
3017 -0.43856E-04-0.30398E-04 0.30611E-04 0.61517E-04
3018 -0.43382E-04-0.14029E-04 0.33348E-04 0.56488E-04
3019 -0.41933E-04 0.12168E-05 0.32948E-04 0.53342E-04
3020 -0.45635E-04 0.17152E-04 0.36975E-04 0.61187E-04
3021 -0.42499E-05 0.62086E-05-0.17366E-04 0.18926E-04
3022 -0.26498E-05-0.49687E-04-0.14832E-04 0.51922E-04
3023 -0.27685E-05-0.96593E-04-0.13213E-04 0.97532E-04
3024 -0.26235E-05-0.13627E-03-0.12557E-04 0.13688E-03
3025 -0.23868E-05-0.17095E-03-0.11698E-04 0.17137E-03
3026 -0.22036E-05-0.20065E-03-0.10920E-04 0.20096E-03
3027 -0.20413E-05-0.22628E-03-0.99462E-05 0.22650E-03
3028 -0.17825E-05-0.24817E-03-0.89982E-05 0.24834E-03
3029 -0.15266E-05-0.26628E-03-0.71576E-05 0.26638E-03
3030 -0.97668E-06-0.28048E-03-0.51853E-05 0.28053E-03
3031 -0.12038E-05-0.28433E-03-0.17540E-05 0.28434E-03
3032 -0.10960E-05-0.27934E-03 0.70375E-05 0.27943E-03
3033 -0.13065E-05-0.27645E-03 0.16403E-04 0.27694E-03
3034 -0.16187E-05-0.27030E-03 0.18217E-04 0.27092E-03

```

#### MAXIMUM ABSOLUTE VALUES

```

NODE      3020      335      232      3031
VALUE -0.45635E-04-0.28434E-03 0.50373E-04 0.28434E-03

```

## Tegangan Sisa

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*

```

LOAD STEP=    45  SUBSTEP=    4
TIME=    15000.    LOAD CASE=    0
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL    2

```

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SNZ
1	-0.18146E+09	-0.17576E+08	0.17758E+09	0.18985E+08	0.39245E+07	-0.87293E+08
2	-0.25695E+09	0.83365E+08	0.96046E+08	-0.42860E+06	0.13101E+08	0.46139E+06
3	-0.21801E+09	0.92576E+07	0.84880E+08	0.81918E+08	-0.61584E+07	-0.45466E+08
4	-0.17711E+09	0.42555E+08	0.12913E+09	0.29583E+07	0.31006E+08	-0.65347E+08
5	-0.17907E+09	0.13626E+09	0.17275E+09	-0.43111E+08	0.19345E+08	-0.33565E+08
106	-0.18561E+09	-0.20432E+08	0.17403E+09	-0.18807E+08	0.34306E+07	0.86876E+08
107	-0.17695E+09	0.13666E+09	0.17574E+09	0.42398E+08	0.18872E+08	0.34829E+08
108	-0.17967E+09	0.40541E+08	0.13105E+09	0.29375E+07	0.30026E+08	0.65603E+08
109	-0.21868E+09	0.12872E+08	0.88402E+08	-0.82088E+08	-0.64369E+07	0.45914E+08
210	-0.18187E+09	0.34567E+07	0.12542E+09	0.30506E+08	0.13460E+08	0.55345E+08
211	-0.20344E+09	0.84482E+07	0.10480E+09	0.36704E+06	0.87961E+07	0.14952E+06

```

212 -0.18315E+09 0.32104E+07 0.12577E+09 0.30771E+08 0.13713E+08-0.55185E+08
213 -0.25499E+09 0.72942E+08 0.10494E+09-0.16868E+06 0.29320E+07 54411.
214 -0.15809E+09 0.16481E+09 0.20023E+09-0.33109E+08 0.22550E+07 0.26309E+08
215 -0.21671E+09 0.70755E+08 0.12798E+09 0.40889E+06 0.67996E+07-0.11166E+06
216 -0.15151E+09 0.16998E+09 0.20467E+09 0.35947E+08 0.25173E+07-0.26903E+08
217 -0.85220E+08 0.24634E+09 0.28467E+09-0.24542E+06 0.10512E+08 0.15598E+06
218 -0.18353E+09 0.71021E+08 0.12154E+09-0.48299E+08 0.42471E+07 0.27437E+08
219 -0.18270E+09 0.68700E+08 0.11917E+09 0.48730E+08 0.45022E+07-0.27105E+08
220 -0.18418E+09-0.26348E+08 0.17344E+09 0.13399E+08-0.12247E+08 0.89032E+08
221 -0.23440E+09 0.14548E+08 0.45826E+08 -181.02 -0.93890E+07 -175.01
222 -0.23241E+09 0.73045E+07 0.91987E+08 0.77276E+08 0.19244E+07 0.49286E+08
223 -0.18552E+09 0.42281E+08 0.12756E+09 0.97189E+06-0.28633E+08 0.64317E+08
224 -0.17655E+09 0.12584E+09 0.17090E+09-0.54720E+08-0.18398E+08 0.39589E+08
397 0.46244E+08 0.89878E+07 0.27219E+09 0.24375E+08-0.12187E+08-0.53558E+08
398 0.77896E+08 0.46076E+08 0.28358E+09 0.27046E+08-0.38987E+07-0.34135E+08
399 0.49713E+08 0.62682E+08 0.35977E+09 0.47476E+08 0.40831E+07-0.42851E+08
400 0.46646E+08 0.76866E+08 0.37536E+09 0.47202E+08 0.85070E+06-0.36741E+08
401 0.42880E+08 0.80297E+08 0.37998E+09 0.45875E+08 0.22135E+06-0.30262E+08
402 0.43460E+08 0.78801E+08 0.38464E+09 0.46188E+08-0.72831E+06-0.26521E+08
403 0.41003E+08 0.78450E+08 0.38574E+09 0.46523E+08-0.15859E+07-0.22581E+08
404 0.42228E+08 0.82200E+08 0.38958E+09 0.47059E+08 0.29696E+06-0.22229E+08
405 0.49993E+08 0.92873E+08 0.39678E+09 0.52545E+08-0.25868E+07-0.21067E+08
406 0.37118E+08 0.88271E+08 0.38490E+09 0.54220E+08-0.15880E+07-0.15922E+08
407 0.37912E+08 0.12548E+09 0.40307E+09 0.28053E+08-0.19511E+07-0.25545E+08
408 0.65602E+08 0.68886E+08 0.38375E+09 0.80089E+08-0.13003E+08-0.27494E+07

```

\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*

PowerGraphics Is Currently Enabled

```

LOAD STEP=    45  SUBSTEP=    4
TIME=    15000.    LOAD CASE=    0
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL    1

```

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SNZ
221	-0.15984E+09	0.13383E+07	0.15158E+08	-117.30	-0.11220E+08	-324.36
222	-0.20968E+09	-0.64946E+08	0.34919E+08	-0.93212E+07	-0.28833E+08	0.83831E+08
223	-0.20919E+09	-0.66034E+08	-0.30552E+08	-0.49600E+08	-0.30673E+08	0.60338E+08
224	-0.16082E+09	-0.22013E+08	-0.18284E+08	-0.50764E+08	-0.19776E+08	0.32872E+08
225	0.24073E+08	-0.10322E+09	-0.29036E+09	-0.37303E+08	0.89775E+08	-0.26009E+08
226	-0.67091E+08	-0.12533E+08	0.39972E+07	-0.18392E+08	0.10523E+08	0.97550E+07
227	-0.14759E+08	0.14386E+08	0.15182E+08	0.26277E+07	0.25782E+07	-0.59729E+07
228	-0.25557E+08	-0.46786E+07	0.38700E+07	-0.10723E+08	0.16160E+07	-0.13601E+08
229	-0.51493E+07	-0.31946E+06	0.45341E+07	-0.10313E+08	0.12564E+07	-0.15789E+08
230	0.10312E+08	0.66119E+06	0.48336E+07	-0.77483E+07	0.94976E+06	-0.15875E+08
231	0.15035E+08	0.11166E+07	0.41432E+07	-0.62631E+07	0.62103E+06	-0.15181E+08
232	0.16548E+08	0.54688E+06	0.32572E+07	-0.56543E+07	0.42676E+06	-0.14351E+08
233	0.17302E+08	0.69402E+06	0.28371E+07	-0.48500E+07	0.34878E+06	-0.13516E+08
234	0.16907E+08	0.49606E+06	0.23371E+07	-0.43604E+07	0.26602E+06	-0.12716E+08
235	0.16076E+08	0.44962E+06	0.19517E+07	-0.39293E+07	0.21329E+06	-0.11997E+08
236	0.14909E+08	0.35483E+06	0.15797E+07	-0.36068E+07	0.16581E+06	-0.11372E+08
237	0.13580E+08	0.27784E+06	0.12217E+07	-0.33584E+07	0.12468E+06	-0.10859E+08
238	0.12185E+08	0.20146E+06	0.85437E+06	-0.31846E+07	80548.	-0.10478E+08
239	0.10787E+08	58789.	0.37315E+06	-0.30957E+07	46773.	-0.10260E+08
240	0.94845E+07	0.11254E+06	-37219.	-0.30649E+07	-76506.	-0.10321E+08
241	0.80259E+07	-0.10178E+07	-0.17585E+07	-0.33105E+07	0.18752E+06	-0.10605E+08



```

242 0.90596E+07 0.38796E+07 0.11030E+07-0.31736E+07-0.21251E+07-0.12672E+08
243 -0.37587E+07-0.24373E+08-0.24252E+08-0.73262E+07 0.11959E+08-0.77091E+07
244 -0.35226E+08-0.21650E+08-0.85466E+08-0.13280E+08-0.28839E+08-0.28046E+08
245 0.83527E+07 0.11768E+08 0.65439E+07-0.61486E+07-0.49723E+07 0.11650E+08
246 0.79289E+08 0.13043E+09 0.92456E+07-0.78245E+07 0.56540E+08-0.29371E+08
247 0.21407E+08 0.69025E+08-0.18443E+07-0.17013E+08 0.39776E+07 0.64674E+06
248 0.13488E+08 0.28484E+08 0.66614E+06-0.10954E+08-0.54739E+07 0.42375E+07
249 0.88839E+07-0.70035E+06 0.67249E+07-0.70007E+07-0.14186E+07 0.13689E+08
250 0.14839E+08-0.12748E+07 0.45987E+07-0.54485E+07-0.86250E+06 0.14747E+08
251 0.14183E+08 0.73117E+06 0.36737E+07-0.38395E+07-0.53949E+06 0.12530E+08
252 0.10526E+08 0.49629E+06 0.18526E+07-0.34758E+07-0.12710E+06 0.11032E+08
253 0.80072E+07 49032. 0.72384E+06-0.32053E+07 -78305. 0.10316E+08
254 0.64957E+07 18949. -18261. -0.31209E+07 -100.33 0.10052E+08
255 0.51863E+07-0.18588E+06-0.67342E+06-0.31453E+07 47573. 0.10208E+08

```

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*  
PowerGraphics Is Currently Enabled

LOAD STEP= 45 SUBSTEP= 4  
TIME= 15000. LOAD CASE= 0  
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL 1

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SEX
256	0.40733E+07-0.30435E+06-0.12330E+07-0.32582E+07	87255.	0.10712E+08			
257	0.28687E+07-0.45364E+06-0.17972E+07-0.34422E+07	0.12315E+06	0.11553E+08			
258	0.13930E+07-0.60735E+06-0.24065E+07-0.36971E+07	0.15990E+06	0.12751E+08			
259	-0.59105E+06-0.79204E+06-0.31238E+07-0.40279E+07	0.20040E+06	0.14363E+08			
260	-0.33667E+07-0.10248E+07-0.40249E+07-0.44493E+07	0.24766E+06	0.16493E+08			
261	-0.73720E+07-0.13163E+07-0.52271E+07-0.49749E+07	0.30932E+06	0.19319E+08			
262	-0.13122E+08-0.17388E+07-0.69210E+07-0.57110E+07	0.38820E+06	0.23139E+08			
263	-0.21830E+08-0.21400E+07-0.94695E+07-0.65515E+07	0.52388E+06	0.28475E+08			
264	-0.35477E+08-0.42922E+07-0.14079E+08-0.81248E+07	0.67540E+06	0.36387E+08			
265	-0.61965E+08-0.19622E+07-0.21952E+08-0.76878E+07	0.11548E+07	0.48866E+08			
266	-0.85107E+08-0.56733E+07-0.36364E+08-0.25525E+08	0.50689E+07	0.80636E+08			
267	-0.84206E+08-0.14746E+08 0.15060E+07-0.16305E+08-0.24295E+08	0.13887E+09				
268	-0.15370E+09 0.48846E+07-0.56885E+08-0.23262E+08-0.95591E+07	0.59332E+08				
269	-0.89560E+08 0.44458E+07-0.26824E+08-0.28422E+08 0.50119E+07	0.48761E+08				
270	-0.41246E+08-0.28251E+07-0.13746E+08-0.17366E+08 0.23636E+07	0.32305E+08				
271	-0.25504E+08-0.17870E+07-0.92653E+07-0.12562E+08 0.12549E+07	0.22630E+08				
272	-0.12749E+08-0.12180E+07-0.60835E+07-0.11038E+08 0.92475E+06	0.16940E+08				
273	-0.57859E+07-0.67636E+06-0.43038E+07-0.92493E+07 0.71161E+06	0.13150E+08				
274	-0.10388E+07-0.61794E+06-0.31641E+07-0.80899E+07 0.54509E+06	0.10495E+08				
275	0.19506E+07-0.43254E+06-0.23713E+07-0.71690E+07 0.43708E+06	0.85887E+07				
276	0.38864E+07-0.33219E+06-0.18021E+07-0.64571E+07 0.34987E+06	0.71873E+07				
277	0.51045E+07-0.24665E+06-0.13669E+07-0.58914E+07 0.27976E+06	0.61526E+07				
278	0.58762E+07-0.18039E+06-0.10111E+07-0.54527E+07 0.21748E+06	0.53988E+07				
279	0.63892E+07-0.12107E+06-0.70127E+06-0.51266E+07 0.5842E+06	0.48761E+07				
280	0.68304E+07 -71976. -0.39940E+06-0.49123E+07 96272.	0.45579E+07				
281	0.73055E+07 -21445. -0.11373E+06-0.48224E+07 24413.	0.44386E+07				
282	0.81833E+07 29821. 0.30797E+06-0.49003E+07 -90002.	0.45127E+07				
283	0.91928E+07 -96552. 0.47228E+06-0.51907E+07-0.14201E+06	0.48185E+07				
284	0.11041E+08 0.56390E+06 0.14914E+07-0.58009E+07-0.81882E+06	0.51809E+07				
285	0.12172E+08-0.20417E+07 0.50523E+06-0.79711E+07-0.87353E+06	0.54064E+07				
286	0.67348E+07-0.41446E+07-0.22171E+07-0.11775E+08-0.21553E+07	0.46587E+07				
287	-0.13363E+09-0.17976E+08-0.54968E+08-0.23170E+08 0.72600E+07	0.42329E+08				

```

288 -0.94635E+08 0.16819E+08-0.19748E+08-0.22920E+08 0.32668E+07 0.27781E+08
289 -0.39114E+08-0.48087E+07-0.11605E+08-0.25410E+08 0.29920E+07 0.18952E+08
290 -0.15381E+08-0.21263E+07-0.51331E+07-0.18125E+08 0.20092E+07 0.11747E+08

```

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*  
PowerGraphics Is Currently Enabled

LOAD STEP= 45 SUBSTEP= 4  
TIME= 15000. LOAD CASE= 0  
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL 1

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SEX
2956	0.86837E+08 0.36189E+08 0.40046E+09-0.73249E+07 0.14629E+07 0.40855E+08					
2957	0.93412E+08 0.26904E+08 0.39886E+09-0.81456E+07 0.22764E+07 0.37527E+08					
2958	0.88295E+08 0.21123E+08 0.39337E+09-0.73762E+07-0.23514E+07 0.35961E+08					
2959	0.89429E+08 0.73227E+07 0.37958E+09 0.42936E+07-0.16307E+06 0.44321E+08					
2960	0.14355E+09-0.16453E+08 0.37938E+09-0.19316E+08-0.16643E+08 0.20772E+08					
2961	0.10798E+09 0.27194E+08 0.40477E+09 0.37807E+07-0.25838E+08-0.72539E+07					
2962	0.10728E+09 0.35417E+08 0.40950E+09-0.64852E+07 0.25713E+07-0.33870E+08					
2963	0.76048E+08 0.30656E+08 0.39294E+09-0.65638E+07-0.84198E+06-0.40031E+08					
2964	0.74171E+08 0.36669E+08 0.39465E+09-0.53467E+07-0.95422E+06-0.41208E+08					
2965	0.68249E+08 0.39164E+08 0.39275E+09-0.45133E+07-0.10115E+07-0.42803E+08					
2966	0.68835E+08 0.42559E+08 0.39398E+09-0.29546E+07-0.16632E+07-0.44892E+08					
2967	0.68401E+08 0.44657E+08 0.39413E+09-0.20684E+07-0.17527E+07-0.46365E+08					
2968	0.70105E+08 0.46803E+08 0.39356E+09 0.42690E+06-0.23195E+07-0.51434E+08					
2969	0.69180E+08 0.50724E+08 0.38926E+09 0.23861E+07-0.38625E+07-0.61440E+08					
2970	0.76688E+08 0.66098E+08 0.36932E+09 0.10261E+08-0.47802E+07-0.72398E+08					
2971	0.82842E+08 0.96235E+08 0.29505E+09 0.15046E+08 0.19253E+07-0.81833E+08					
2972	0.40113E+08 0.44305E+08 0.20882E+09 0.10603E+08 0.60751E+07-0.11225E+09					
2973	-0.27302E+07-0.47003E+07 64730. -0.19777E+07 0.39612E+07 0.66879E+07					
2974	0.89570E+06 0.10846E+07-0.33451E+07 0.22617E+06 0.87220E+06 0.26591E+07					
2975	0.14099E+06 0.21759E+06-0.85298E+07-0.13364E+06 0.97235E+06 0.17514E+07					
2976	7907.0 -0.12754E+06-0.10209E+08 23604. 0.10485E+07 0.20514E+07					
2977	31763. -47799. -0.12101E+08 4049.9 0.87059E+06 0.19772E+07					
2978	0.13469E+06 86011. -0.14417E+08 11000. 0.81224E+06 0.17969E+07					
2979	0.10446E+06 -27529. -0.16715E+08 15413. 0.65629E+06 0.16132E+07					
2980	0.17423E+06 87765. -0.18785E+08 20474. 0.52748E+06 0.13095E+07					
2981	0.18028E+06 45650. -0.20608E+08 19570. 0.36873E+06 0.97445E+06					
2982	0.21146E+06 92382. -0.21867E+08 23043. 0.21182E+06 0.57405E+06					
2983	0.21379E+06 80463. -0.22540E+08 21910. 48405. 0.15359E+06					
2984	0.20857E+06 84265. -0.22512E+08 22572. -0.11205E+06-0.27330E+06					
2985	0.18743E+06 72987. -0.21842E+08 22133. -0.26685E+06-0.66950E+06					
2986	0.15484E+06 47049. -0.20646E+08 20373. -0.41151E+06-0.10199E+07					
2987	0.12991E+06 48850. -0.19057E+08 20499. -0.54652E+06-0.13050E+07					
2988	91179. -3189.9 -0.17308E+08 15951. -0.66512E+06-0.15423E+07					
2989	94922. 49466. -0.15430E+08 15744. -0.78376E+06-0.17134E+07					
2990	40184. -57915. -0.13666E+08 10105. -0.86790E+06-0.18792E+07					

\*\*\*\*\* POST1 NODAL STRESS LISTING \*\*\*\*\*

LOAD STEP= 45 SUBSTEP= 4  
TIME= 15000. LOAD CASE= 0  
NODAL RESULTS ARE FOR MATERIAL 2

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	SX	SY	SZ	SXY	SYZ	SXZ
2969	0.52562E+08	0.73796E+08	0.37961E+09	-0.45518E+08	0.13400E+07	-0.38632E+08
2970	0.70962E+08	0.76258E+08	0.36460E+09	-0.43904E+08	-0.16641E+07	-0.43639E+08
2971	0.78265E+08	0.46409E+08	0.30600E+09	-0.25834E+08	0.73806E+07	-0.37000E+08
2972	0.48640E+08	0.10125E+08	0.28423E+09	-0.24437E+08	0.90011E+07	-0.56704E+08
5451	-0.17588E+09	0.10435E+08	0.13929E+09	-0.29313E+08	-0.16297E+08	-0.57565E+08
5452	-0.19706E+09	0.15286E+08	0.12451E+09	-87.012	-0.96038E+07	394.17
5453	-0.17588E+09	0.10435E+08	0.13929E+09	0.29313E+08	-0.16297E+08	0.57565E+08
5457	-0.24912E+09	0.80912E+08	0.11023E+09	-65.423	-0.34122E+07	41.548
5458	-0.15820E+09	0.16750E+09	0.19523E+09	-0.37629E+08	-0.29389E+07	-0.26819E+08
5459	-0.22913E+09	0.69380E+08	0.13762E+09	-142.37	-0.66718E+07	264.66
5460	-0.15820E+09	0.16750E+09	0.19523E+09	0.37628E+08	-0.29389E+07	0.26819E+08
5461	-0.80740E+08	0.25137E+09	0.28929E+09	-70.874	-0.10148E+08	-18.930
5462	-0.19109E+09	0.68125E+08	0.12250E+09	-0.50395E+08	-0.67179E+07	-0.29096E+08
5463	-0.19109E+09	0.68125E+08	0.12250E+09	0.50395E+08	-0.67180E+07	0.29096E+08
5680	0.94495E+06	-0.59289E+07	0.18857E+09	-0.21628E+08	-93729.	0.35142E+08
5681	0.32375E+08	-0.63294E+06	0.25974E+09	-0.18816E+08	-0.49887E+07	0.21600E+08
5682	0.14421E+08	0.30302E+07	0.28666E+09	-0.15319E+08	-0.41702E+07	0.28491E+08
5683	0.11444E+08	-0.47702E+07	0.32040E+09	-0.13796E+08	-0.59777E+07	0.25195E+08
5684	0.61017E+07	-0.24624E+07	0.34046E+09	-0.14712E+08	-0.61340E+07	0.21051E+08
5685	0.48026E+07	-0.38934E+07	0.34083E+09	-0.16676E+08	-0.60706E+07	0.19019E+08
5686	0.51718E+07	-0.31468E+07	0.34101E+09	-0.17711E+08	-0.55428E+07	0.16693E+08
5687	0.39881E+07	-0.23630E+07	0.34051E+09	-0.16162E+08	-0.46261E+07	0.15813E+08
5688	0.12503E+08	-0.12136E+08	0.33699E+09	-0.18065E+08	-0.50188E+07	0.17423E+08
5689	0.89462E+07	0.13326E+07	0.32804E+09	-0.16719E+08	-0.10561E+08	0.96289E+07
5690	-0.11813E+08	-0.15450E+08	0.32581E+09	-0.48759E+07	0.33837E+07	0.25842E+08
5691	0.17702E+08	0.30271E+08	0.36327E+09	-0.32605E+08	-0.20869E+07	-0.55657E+07
5692	0.32290E+08	-0.30627E+08	0.31508E+09	0.36223E+07	-0.51951E+07	-0.27207E+08
5693	0.12539E+08	0.28394E+07	0.33066E+09	-0.14838E+08	0.10028E+08	-0.70273E+07
5694	0.13928E+07	-0.35944E+07	0.34030E+09	-0.20329E+08	0.48107E+07	-0.15089E+08
5695	-0.69282E+07	-0.29378E+07	0.33746E+09	-0.18059E+08	0.47990E+07	-0.14464E+08
5696	-0.29806E+07	-0.18565E+06	0.34112E+09	-0.18792E+08	0.51873E+07	-0.14710E+08
5697	-0.24295E+07	-0.16499E+07	0.34059E+09	-0.18561E+08	0.51138E+07	-0.16095E+08
5698	0.50395E+06	0.35948E+06	0.34299E+09	-0.18193E+08	0.53712E+07	-0.16990E+08
5699	0.40822E+07	-0.12339E+07	0.34332E+09	-0.17935E+08	0.61816E+07	-0.18976E+08
5700	0.68680E+07	0.63084E+06	0.34006E+09	-0.18435E+08	0.54119E+07	-0.24467E+08
5701	0.22093E+08	0.11669E+07	0.30701E+09	-0.13261E+08	0.47998E+07	-0.28830E+08

MINIMUM VALUES

NODE	2	2869	130	109	6	2850
VALUE	-0.25695E+09	-0.10323E+09	-0.30621E+09	-0.82088E+08	-0.93929E+08	-0.13887E+09

MAXIMUM VALUES

NODE	408	5461	2961	3	225	267
VALUE	0.14355E+09	0.25137E+09	0.44602E+09	0.81918E+08	0.89775E+08	0.13887E+09



LL 1327

Tugas Akhir



**LAMPIRAN E**  
**LEMBAR ASISTENSI**

